

日 本 国 特 許 庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

06.04.01

EKV

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application:

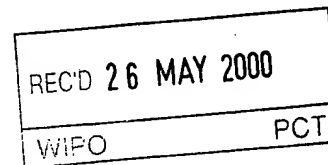
1999年10月 9日

出 願 番 号
Application Number:

平成11年特許願第324492号

出 願 人
Applicant(s):

長浦 善昭

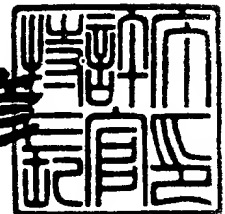


PRIORITY
DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

2000年 5月12日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

近藤 隆彦



出証番号 出証特2000-3035058

【書類名】 特許願

【整理番号】 NAG126

【特記事項】 特許法第 3 0 条第 1 項の規定の適用を受けようとする特
許出願

【提出日】 平成11年10月 9日

【あて先】 特許庁長官殿

【発明の名称】 圧電素子及びその加工方法

【請求項の数】 27

【発明者】

【住所又は居所】 福岡県筑紫野市大字上古賀 2 4 6 - 1 (コンフォート天
拝 1 0 4)

【氏名】 長浦 善昭

【特許出願人】

【識別番号】 590005195

【住所又は居所】 福岡県筑紫野市大字上古賀 2 4 6 - 1 (コンフォート天
拝 1 0 4)

【氏名又は名称】 長浦 善昭

【電話番号】 092-921-6852

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【書類名】 明細書

【発明の名称】 圧電素子及びその加工方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】 水晶板を、両面研磨加工機械、又は片面研磨加工機械、又はその他の研磨加工機械を使用して、研磨加工した水晶板（例えば、水晶板の厚さを $80\mu\text{m}$ として、水晶板の直径を2インチとする）を、片面、又は両面から、RIE（Reactive Ion Etching）加工、又は化学的なWetエッチング加工を行って、数 $10\mu\text{m}$ 前後（例えば、 $60\mu\text{m}$ とする）を、除去した後、化学的な、DRY Etching 加工（以下、RIE、又はプラズマエッチングとする、又は）Wetエッチング加工によって発生した数 μm の凸凹（例えば、RIE加工にて、 $60\mu\text{m}$ 除去すると、約 $0.2\mu\text{m}$ から $3\mu\text{m}$ の、ダメージ層、又は加工変質層、又は凸凹が発生する）を、再度、両面研磨加工機械、又は片面研磨加工機械、又はその他の研磨加工手段によって研磨加工をする、水晶板などの圧電素材、又はシリコンなどの電子材料を加工することを特徴とする、圧電素子の加工方法。

【請求項2】 第1の加工補助具の上面に、リング形状又は4角形状又はその他の形状の溝又は段差を形成し、その溝又は段差の、深さよりも、やや高い、円筒形状又はその他の形状の、硬質ガラス、又は鉄、又はその他の素材などで出来ている、第2の加工補助具を、前記溝又は段差に、はめ込み、前記第2の、加工補助具の、第1の加工補助具、上面からの、突出高さと、同じか、又は突出高さよりも、少し低いか、又は高い、円板状又はその他の形状の、圧電素子被研磨物を設置し、前記圧電素子被研磨物の上面にある上部ラッピングプレート（上の上板）と、前記第1の加工補助具の下面にある下部ラッピングプレート（下の上板）の、上下2枚のラッピングプレートを使用し、極く、薄い加工物を、研磨加工することを特徴とする、圧電素子の加工方法。

【請求項3】 前記第1の加工補助具の、上面に形成した、円形状又はその他の形状の溝又は段差に水溶液などの液体を入れ、この液体に、前記圧電素子被研磨物下面の、周囲が密着するように、前記圧電素子被研磨物を、前記第1の加工補助具上に載置（ただ置くだけ）し、前記液体の、表面張力を使用するか、又

は氷結させることで、前記第1の加工補助具と、前記圧電素子被研磨物とを、固着することを特徴とする請求項2記載の圧電素子の加工方法。

【請求項4】 前記第1の加工補助具の、上面に載置した水を含ませた、親水性薄板の上に、前記圧電素子被研磨物を載置し、前記親水性薄板に含ませた、水の表面張力を使用することで、前記第1の加工補助具と、前記圧電素子被研磨物とを、固着することを特徴とする請求項2ないし3のいずれかの項に記載の圧電素子の加工方法。

【請求項5】 前記第1の加工補助具に、複数の孔を形成し、この孔に、水飴、蜂蜜、接着剤のボンド又はグリース又はその他の接着剤などの、粘性物質を充填することで、前記圧電素子被研磨物下面を、前記粘性物質で密着させるか、又は真空の吸着力を使用して、前記第1の加工補助具と、前記圧電素子被研磨物とを、孔の面積だけで、接着剤、又は真空の吸着力を使用して、固着することを特徴とする請求項2ないし4のいずれかの項に記載の圧電素子の加工方法。

【請求項6】 前記第1の加工補助具と、第2の加工補助具を、松脂、パラフィン、澱粉糊又はその他の接着剤を使用して、固定することを特徴とする請求項2ないし4のいずれかの項に記載の圧電素子の方法。

【請求項7】 前記第1の加工補助具を、硬質ガラス、又は鉄などの、金属を使用して製作し、第2の加工補助具を、超鋼又は、鉄又は、硬質ガラス又は、ガラスに類似の素材を使用して、製作することを特徴とする、請求項2ないし6のいずれかの項に記載の圧電素子の加工方法。

【請求項8】 圧電素子被研磨物にマスクをかけてマスクングし、中心部分だけを、例えば、 CF_4 、 C_2F_6 又は CHF_3 などを使用して、RIE加工、イオンミリング、又はプラズマエッチング、又はその他の化学的なWetエッチング手段を使用して、平板形状、Bi-Convex型形状又は凹レンズ形状（逆ME S A形状）に、加工した後、その後の加工手段として、両面研磨加工機械、又は片面研磨加工機械又はフロートポリッシング機械又はその他の研磨加工手段を使用し

て、エッチング加工を行った、加工面の表面、又は裏面の加工面を、機械的に研磨加工を行うことを特徴とする圧電素子の加工方法。

【請求項 9】 加工補助具に、水晶版を保持させて、片面は水晶板の一面を研磨加工し、もう一方の片面は、加工補助具の一面を、両面研磨加工機械を使用して、上と下から、同時に研磨加工することで、両面研磨加工機械を、片面研磨加工機械として使用する、圧電素子の研磨加工方法。

【請求項 10】 凹レンズ形状に加工した水晶板の表面、又は裏面を、加工補助具を使用して保持し、片面は水晶板の凹レンズ形状の表面、又は裏面を、もう一方の片面は、加工補助具の一面を、両面研磨加工機械を使用して、上と下から、同時に研磨加工する、圧電素子の研磨加工方法。

【請求項 11】 水晶板を凹レンズ形状に加工し、凹レンズ形状に加工した面を、加工補助具を使用して保持し、片面は凹レンズ形状に加工した裏面を、もう一方の片面は、加工補助具の一面を、両面研磨加工機械を使用して、上と下から、同時に研磨加工する、極く薄い、圧電素子を加工する、圧電素子の研磨加工方法。

【請求項 12】 一面又は両面を、凹レンズ形状、Concavo-Convex 型形状、又はBi-Convex 型形状に加工した水晶板を、両面研磨加工機械を使用して、上と下から、同時に研磨加工し、極く薄い、圧電素子を加工する、圧電素子の研磨加工方法。

【請求項 13】 凹レンズ形状に加工した水晶板の、凹レンズ形状の内部に、松脂又はパラフィン又はその他の樹脂を注入して、凹レンズ形状内部の強度を補強した、水晶板を、両面研磨加工機械、又は片面研磨加工機械を使用して、上と下から、同時に研磨加工するか、又は片面研磨加工機械を使用して研磨加工する、圧電素子の研磨加工方法。

【請求項 14】 加工補助具の材質を、酸化セリウムなどの研磨剤では研磨が出来にくい、硬質ガラス、プラスチック、又は超鋼、又は鉄などの金属を使用して作り、加工補助具の一面の加工が出来にくい条件とすることを特徴とする請求項 2 ないし 13 のいずれかの項に記載の圧電素子の研磨加工方法。

【請求項 15】 水晶板などの圧電素材を、凹レンズ形状に、化学的なWet Etching、プラズマエッチング、又は機械加工などを使用して、凹レンズ形状に加工した水晶板の凹レンズ形状部分に、松脂又はパラフィン又は膠又



はその他の樹脂を注入して、凹レンズ形状内部の強度を補強した後、凹レンズ形状を形成している表面と裏面を同時に、両面研磨加工機械を使用して研磨加工する、圧電素子の研磨加工方法。

【請求項 1 6】 円筒の中央部に、水晶又は、ニオブ酸リチウム、ニオブ酸カリウム又は、その他の単結晶又は、チタン酸バリウム又は、圧電セラミックス又は、その他のセラミックスなどの、圧電効果を有する材質からなる受圧面を形成し、その受圧面に、一对の電極を形成することを特徴とする圧電素子の加工方法。

【請求項 1 7】 円筒と受圧面が、圧電効果を有する一体の材質である請求項 1 6 記載の圧電素子の加工方法。

【請求項 1 8】 圧電効果を有する、材質からなる丸棒の、両端部分から、それぞれ研削手段を用いて穴を開け、前記丸棒の、中央部に、所定の厚みの受圧面を形成し、さらに、その受圧面に、円筒の、左右から進入した、空気振動が、中央部分にて、共鳴することが出来るように、受圧面の外周部分に、左右から進入した、空気振動が、行き来することが出来るように、穴又は空間部分を形成して、円筒の左右から進入した、空気振動が、円筒の中心部分にて、共鳴して、共鳴現象を起こし、中心部分に位置する、受圧面を、より強く、振動させることを特徴とする圧電素子の加工方法。

【請求項 1 9】 圧電効果を有する、材質からなる丸棒の、両端部から、それぞれ研削手段を用いて、円筒形状の穴を開け、前記丸棒の、中央部に、所定の厚みの受圧面を形成し、その受圧面に、一对の電極を設けて、外部の空気振動を増幅した、電気信号を得ることを特徴とする圧電素子の加工方法。

【請求項 2 0】 研削手段は、樽状の砥石の表面に溝を形成し、その溝に空気、又は液体を噴射することで前記砥石を回転させるか、またはその他の機械的な手段を使用して、前記樽状の砥石を回転させるものである請求項 1 9 記載の圧電素子の加工方法。

【請求項 2 1】 真球に近い鋼球を使用して、樽状の砥石を形成する請求項 1 9 または 2 0 記載の圧電素子の加工方法。

【請求項 2 2】 水晶板の中心部分に、金などの金属を使用して、蒸着、又

はメッキを行い、蒸着などの手段を使用して、金属部分を形成している、水晶板の中心部分に、細い金線を結線し、水晶板の電極として使用し、金線を使用して、水晶板に電圧を印加する、圧電素子の加工方法。

【請求項 23】 水晶板に、Bi-Convex 型形状、Plano-Convex 型形状、及び凹レンズ型形状 (inverted-mesa 型形状) に、機械研磨加工、又は化学的な Wet エッチング手段にて加工した後、Bi-Convex 型形状、Plano-Convex 型形状、Concavo-Convex 型形状、及び凹レンズ型形状を形成している面の、裏面、又は両面から、再度、RIE 加工、又は化学的な Wet エッチング加工を行って、Bi-Convex 型形状、Plano-Convex 型形状、及び凹レンズ型形状を、相似形状、又は相対的に、縮小して、極く、薄く加工した後、仕上げ工程の加工として、機械研磨加工をする、圧電素子の加工方法。

【請求項 24】 水晶板を、平板形状、又は凹レンズ型形状、又はその他の形状に、RIE 加工、又はその他の化学的な Wet エッチング加工手段にて加工した後、平板形状、又は凹レンズ型形状を形成している面の、裏面から、RIE 加工、プラズマエッチング、又はその他の化学的なエッチング手段にて、数 10 μm 、削り落とし、平板形状、又は凹レンズ型形状の裏面を、数 10 μm 、RIE 加工、又はその他のエッチング手段にて、削り落とした加工面に出来た、1 μm から数 μm の凸凹を、機械加工を使用して、0.2 μm から数 μm 程、研磨加工して、平板形状、又は凹レンズ型形状を形成している裏面を、鏡面に研磨加工するために、加工補助具を使用して加工するか、又は加工補助具を使用することなく、平板形状、又は凹レンズ型形状の裏面を、片面研磨加工機械、又は両面研磨加工機械、又はその他の研磨加工手段を使用して、0.2 μm から数 μm 、研磨加工して、鏡面仕上げの加工を行う、圧電素子の加工方法。

【請求項 25】 水晶板、又は石英にて出来ている石英板に穴を形成した、マスク板を、水晶板の上に置いて、マスクング (金属被膜) の変わりとして使用し、Reactive Ion Etching (RIE) 加工を行い、水晶板に凹レンズ形状を形成することを特徴とする圧電素子の加工方法。

【請求項 26】 水晶などの圧電材料を、RIE 加工にて加工する場合、C

F_4 、 CHF_3 又は C_2F_6 などのフッ素系ガスとアルゴンガスの混合ガスを使用すると、水晶などの表面精度の加工精度がよいことを特徴とする圧電素子の加工方法。

【請求項 27】 一面又は両面を、凹レンズ形状に加工した水晶板を、両面研磨加工機械を使用して、上と下から、同時に研磨加工し、極く薄い、圧電素子を加工する、圧電素子の研磨加工方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、チタン酸バリウムや、水晶や、加速度センサー又は、角速度センサーに用いる、ニオブ酸リチウム又は、ニオブ酸カリウム又は、その他の単結晶又は、圧電セラミックス又は、その他のセラミックスなどの圧電素子又は、シリコン、ガリウムヒ素、又はその他の電子材料、光学レンズ又は、その他の物質を、加工するための、加工工具及び、その加工方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

圧電素子の一種である水晶振動子は、通信機器や計測機器の基準周波数の発振源をはじめ、汎用コンピュータ、OA 情報機器、家電製品用のマイコンのクロック発生など、その用途は多岐にわたっているが、情報の処理・伝達能力の高性能化のため、振動子の厚さを薄くし、その固有振動周波数を上昇させることが求められている。また高品質の振動子を得る目的で、レンズ形状に仕上げるのが提案され、比較的低い周波数領域では実績を上げている。

【0003】

しかしながら、振動子の厚さを薄くする場合の問題として、両面ラップ盤による製造法では、現在 $24.0 \mu m (= 70 MHz)$ に製造の限界がある。

また、振動子を、レンズ形状に仕上げる場合では、薄片上に、曲面を創成することは非常に困難であり、今まで製作された例がなかった。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

そこで本発明が解決しようとする課題は、従来困難とされた、製造限界の厚みよりも、薄い、電子材料、圧電素子及びその加工方法を提供することである。

【0005】

【課題を解決するための手段】

前記課題を解決するため、本発明の圧電素子の加工方法は、超鋼又は、鉄又は、硬質ガラス又は、ガラス又は、その他の素材で、出来ている、第1の加工補助具の上面に、リング形状又は4角形状又はその他の形状の溝又は段差を形成し、その溝又は段差の深さよりも、やや高い、円筒形状又はその他の形状をした、硬質ガラス又は、超鋼又は、鉄又は、その他の素材でできている、第2の加工補助具を、前記溝又は段差にはめ込み、前記第2の加工補助具の、第1の加工補助具上面からの、突出高さと同じか、又は、突出高さよりも少し低いか、又は、高い円板状又は、その他の形状の、圧電素子被研磨物を設置し、前記圧電素子被研磨物の、下面にある、下部ラッピングプレート（下の上板）と、前記第1の加工補助具の、上にある、上部ラッピングプレート（上の上板）の、上下2枚のラッピングプレートを使用し、極く薄い加工物を研磨加工することを特徴とする。

【0006】

第1の加工補助具と、円板状又はその他の形状の、圧電素子被研磨物との固着方法としては、前記第1の加工補助具の、上面に形成した円形状又は、その他の形状の溝又は、段差に水溶液、又は粘性物質（例えば、界面活性剤などの物質）の液体を入れ、この液体に前記圧電素子被研磨物下面の、周囲が密着するように、前記圧電素子被研磨物を、前記第1の加工補助具上に載置し、前記液体の表面張力を使用するか、または氷結させることで、前記第1の加工補助具の上面に、載置した、水を含ませた親水性薄板の上に、前記圧電素子被研磨物を載置し、前記親水性薄板に含ませた、水の表面張力を使用すること、あるいは前記第1の加工補助具に、複数の孔を形成し、この孔に水飴、蜂蜜、接着剤のボンドまたはグリースなどの、粘性物質又はその他の接着剤（たとえば、ゴム系の接着剤）を充填することで、前記圧電素子被研磨物の下面を、前記粘性物質で、密着させる方法を採用することもできるが、第1の加工補助具の上に、圧電素子被研磨物を、ただ置くだけとするか、又は真空の吸着力を使用して吸着させる。さらに、硬質ガラ

ス又は、超鋼又は、鉄又は、その他の金属などでできている、前記第 1 の加工補助具と、第 2 の加工補助具を、松脂、パラフィン、澱粉糊又は、その他の接着剤を使用して固定することもできるが、固定して使用しなくてもよい場合もある。

【0007】

また、本発明の圧電素子は、円筒の中央部に、水晶又は、チタン酸バリウム又は、ニオブ酸リチウム又は、その他のセラミックスなどの、圧電効果を有する材質からなる受圧面を形成し、その受圧面に、一对の電極を形成したことを特徴とする。

前記の円筒と、受圧面を、圧電効果を有する一体の材質とすることができる。

【0008】

さらに、本発明の圧電素子の加工方法は、圧電効果を有する材質からなる、丸棒の両端部から、それぞれ、研削手段を用いて、円筒形状の穴を開け、前記丸棒の、中央部に、所定の厚みの受圧面を形成し、その受圧面に、一对の電極を設けて外部の空気振動を、増幅した電気信号に変換する構成としたことを特徴とする。

研削手段は、樽状の砥石の表面に溝を形成し、その溝に、圧縮空気又は液体を噴射することで、前記砥石を回転させるか、またはその他の機械的な手段を使用して、前記樽状の、砥石を回転させるものとして行うことができる。又、真球に近い鋼球を使用して、樽状の砥石を形成することもできる。

【0009】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について説明する。

本発明者は、研削加工法に分類される、新しい加工法を開発し、厚さ $9\mu\text{m}$ の片凸レンズ状 (Planar-convex 型) 水晶振動子の製作に成功した。さらに、水晶振動子の高性能化を目的として、厚さ $500\mu\text{m}$ 以下の振動子について、厚さと電気的特性の関係を調査した。

【0010】

水晶は硬脆材料であるため、適応できる加工法は、機械的なラッピング加工あるいは、化学的な Wet エッチング加工に限定されたと考えられていた。そのた

め、高周波用水晶振動子の加工には、研削加工法は、ほとんど用いられていない。

【 0 0 1 1 】

本発明者が開発した研削加工法は、図 1 に示すように、鋼球にダイヤモンド砥粒を、電着固定したボール砥石 1 を用いる方法である。すなわち、超精密旋盤の主軸 2 に、取り付けた円筒形状磁石 3 上に、水晶板 4 を張り付け、研削スピンドル 5 の先端には、球が乗る座を設けた、工具保持具 6 を取り付けられている。これを円筒形状磁石 3 に近づけると、磁気誘導によって、鋼球は工具保持具 6 に吸引保持される。工具保持具 6 が、円筒形状磁石 3 の、直径よりも小さくなっているがため、磁束密度が、ボール砥石 1 と、円筒形状磁石 3 間よりも、ボール砥石 1 と、工具保持具 6 間の方が、大きくなっている。このため、ボール砥石 1 は、工具保持具 6 に、強く吸引され、高速回転しても外れずに、強力に一体化する。

【 0 0 1 2 】

この鋼球には、ダイヤモンド砥粒が、電着固定され、ボール砥石 1 となっており、円筒形状の工具保持具 6 に、鋼球は、磁力で保持されているので、容易に砥石の交換ができる。しかも、円筒形状の工具保持具 6 と、精度のよい鋼球を用いて、鋼球を保持しているので、交換時必要であった、砥石 1 の、芯合わせの作業も、不要であるため、粗加工から、仕上げ加工に使用する、ボール砥石 1 の交換を、迅速に行える特長を持っている。このボール砥石 1 の運動は、NC 装置で制御されるので、曲面の創成も可能である。又、ボールベアリングなどに使用する、鋼球で出来ている、ボール砥石 1 に、電着固定される、ダイヤモンド砥粒 5 7 の、直径の太さが、例えば、荒加工に使用する、 $30\mu\text{m}$ の場合と、中仕上に使用する、 $16\mu\text{m}$ の場合と、仕上に使用する、 $4\mu\text{m}$ の場合では、ボール砥石 1 の、直径が、それぞれ、ダイヤモンド砥粒 5 7 の、直径の太さの分だけ異なる、此のダイヤモンド砥粒 5 7 の直径が異なると、ボール砥石 1 を、円筒形状の工具保持具 6 に、主軸 2 側の円筒形状磁石 3 の、磁気誘導を使用して、吸着保持させると、それぞれの、ダイヤモンド砥粒 5 7 の直径が異なる分だけ、工具保持具 6 に、磁力にて保持されている、ボール砥石 1 の、中心点が縦方向に移動する。この問題点の、解決手段としては、図 1 (b) に示しているように、工具保持具 6

にて、ボール砥石 1 を保持する、ボール砥石 1 の保持部分 56 の、面積だけを、ダイヤモンド砥粒 57 を、電着固定していない、ボール砥石 1 を使用すれば、図 1 (c) に示しているように、ダイヤモンド砥粒 57 の太さに関係なく、ボール砥石 1 の縦及び横方向の x 、 y 軸特に縦方向の x 軸の、中心軸は、常に不動となるので、荒仕上用の、砥石の、ボール砥石 1 と、中仕上用の、砥石の、ボール砥石 1 と、又、仕上用の、砥石の、ボール砥石 1 の交換を、それぞれ行なっても、ボール砥石 1 の、縦及び横方向の中心軸の、 x 、 y 軸は、図 1 (c) に示しているように、常に変化することがないので、ボール砥石 1 の、交換が容易となる。

【0013】

本発明者は、この加工法を使って、図 2 (a) に示すように、保持部分 51 と、溝 52 を一体成型した、P l a n o - c o n v e x 型の加工に成功した。保持部分 51 と、溝 52 を結ぶ曲線は、スムーズライン 53 と呼ばれる。その形状は、図 2 (b) に示すように、水晶円板の中央部を研削加工し、厚さ $25\mu\text{m}$ 、曲率半径 3mm 、形状誤差 $0.1\mu\text{m}$ 以下のレンズ形状である。従来、この形状の水晶振動子は、副振動を伴い易く、十分な性能が発揮できないとされていた。しかし、図 2 (c) から明らかなように、そのリアクタンス周波数特性は、鋭い共振曲線を描き、副振動を全く伴わないことから、水晶振動子として、理想に近いことが理解される。

【0014】

更に薄い、水晶振動子の製作を試み、厚さ $9\mu\text{m}$ 、曲率半径 200mm の、水晶振動子の加工に成功した。これに、酸化セリウムによる、研磨加工を加えて、表面をさらに $0.5\mu\text{m}$ 程度除去した結果、図 3 (a) に示すような素子を得た。そのリアクタンス周波数特性は、図 3 (b) に示すように、共振曲線は、やや鋭さを欠き、図 2 の水晶振動子と比較すると、 Q が、やや小さいことを示唆しているが、副振動は全く伴っていない。共振曲線が鋭さを欠く原因として、水晶振動子表面下には、加工によるダメージを内在していることが予想され、水晶振動子の厚さが、薄くなることによって、相対的に、ダメージ層の、厚さの、比率が増したためと考えられる。しかし、このダメージ層をエッチング法で除去することにより、特性の改善は可能である。

【0015】

次に、P l a n o - c o n v e x型の曲率半径を、30mm一定の条件で、レンズ部分の厚さを、増加することを試みた。厚さ125 μ mに達するまで、図2と類似な副振動を伴わない、鋭い共振曲線が維持された。しかし、それを越えると、副振動を伴ったり、振動しなくなる現象が現れた。

【0016】

一方、図4 (a) に示すような、振動部分の厚さが、27 μ mの平面形状、又は凹レンズ形状ともいう (I n v e r t e d m e s a型) も製作した。同程度の共振周波数を持つ、P l a n o - c o n v e x型と比較すると、図4 (b) のように、多少電気的特性は劣るが、やはり副振動を伴わないことが分かる。さらにI n v e r t e d m e s a型の、平板部分の厚さを増加させると、厚さが30 μ mを越えると、振動を起こさない現象が出現した。I n v e r t e d m e s a型は、レンズ部分の曲率半径が、無限大のP l a n o - c o n v e x型と考えられ、リングサポートを持つ、この形状の水晶振動子は、振動部分の厚さと曲率により、良好な振動特性を示す領域と、振動できない領域があると言える。

【0017】

本発明の方法により、次の結論を得た。これまでB i - c o n v e x型の形状でなければ、副振動を伴わない、良好な水晶振動子は得られないとされていた。しかし、P l a n o - c o n v e x型でも、リングサポートを設けて、厚さを30 μ m程度に薄くすると、副振動を伴わない、理想的なリアクタンス周波数特性を持つ、水晶振動子が得られることが判明した。

【0018】

以上述べたように、厚さの薄い領域で、水晶振動子の高性能化が期待できる結果を得た。しかし、厚さが125 μ mを越えると、副振動が発生するか、あるいは振動しなくなることも判明した。尚、図2 (a) に示している、P l a n o - C o n v e x型形状、及び図4 (a) に示している凹レンズ型形状 (I n v e r t e d m e s a型形状) のものでも、ある一定の厚さ、及びある一定の極率半径に研磨加工しておけば、P l a n o - C o n v e x型形状、及び凹レンズ型形状を形成している裏面から、R I E加工、プラズマエッチング、(以下、R I E

加工、イオンミリング及びプラズマエッチングの加工手段を、化学的な、Dry Etchingとする)、又は化学的な、Wetエッチング手段と、片面研磨加工機械、又は両面研磨加工機械、又はその他の研磨加工手段を併用、又は単独にて使用して、Plano-Convex型形状の裏面、又は凹レンズ型形状の裏面を加工、又は研磨加工することで、極限まで、極く薄い、Plano-Convex型形状、及び凹レンズ型形状の、研磨加工を行うことが出来る。

尚、図1に示している加工手段は、Plano-Convex型形状以外に、Concavo-Convex型形状、又はBi-Convex型形状の加工を行うことも出来る。

【0019】

また、本発明者は、できるだけ、水晶振動子の厚みを薄くするための、加工方法について研究を重ねてきた。図5及び図6は、ポリッシュポイントの、直径と厚みが、それぞれ5mm、76.7 μ m及び、100 μ mの場合の、リアクタンス周波数特性を示すものである。これによれば、主振動の周波数の近傍に、副振動が存在することがわかる。図7は厚みが、33 μ mの水晶振動子の、リアクタンス周波数特性を示すもので、 ± 5 MHzの、周波数領域には副振動は存在していない。

尚、図8に示すように、約6MHz離れた周波数領域に、複雑な副振動が見られる。図9は厚みが、31 μ mの水晶振動子の、リアクタンス周波数特性を示すもので、主振動の、 ± 5 MHzの領域には副振動は存在しないが、図10に示すように、副振動の周波数は、主振動の周波数よりも、約8MHz離れている。これより、副振動は水晶振動子の厚みが、薄くなればなるほど、主振動の周波数から離れることがわかる。

【0020】

図11～図19は超薄型の、水晶振動子の加工装置を示すものである。

この加工装置においては、図11に示すように、第1の加工補助具11の上面に、リング形状又は4角形状又はその他の形状の溝又は段差12を形成し、図12に示すような、リング形状又はその他の形状の溝又は段差12の深さよりも、やや高い円筒形状又は、その他の形状の、第2の加工補助具19をはめ込み、図1

3に示すように、第1の加工補助具12の内部に、第2の加工補助具19をはめ込み、第1の加工補助具11からの突出高さ（例えば $40\mu\text{m}$ ）と同じか、又は突出高さよりも、少し低いか、又は高い円板状又は、その他の形状の圧電素子被研磨物、本例では水晶板13を設置する。さらに、他の加工順序としては、下記のようにすると、水晶板13を加工する段階にて発生する、歪みを是正するのでなおよい。水晶板13を、第1の加工補助具11の上に設置する前に、前処理として、水晶板13の片面に、金又は、銀又は、アルミニウムなどの、金属を使用して蒸着し、水晶板13の片面に、金属被膜を形成するか、又はその他の手段を使用して、水晶板13の、表面と裏面の、区別が出来るように、水晶板13の片面を、表面処理したあと、例えば、極く薄い、金属被膜を形成した場合には、金属被膜を形成した面を、下側にして、水晶板13を、第1の加工補助具11の上に設置し、水晶板13の、最初の厚さが、例えば、両面研磨加工した、厚さが、 $40\mu\text{m}$ ならば、 $20\mu\text{m}$ 程度の、厚さまで、研磨加工した段階でも、水晶板13の研磨加工面には、かなりの歪みが発生する、此の歪みを除去するために、此の段階にて、第1の加工補助具11と、第2の加工補助具19を使用して形成した、加工補助具と、加工途中の、水晶板13を、両面研磨加工機械より、取り出して、よく洗浄したあと、再度、水晶板13の表面上に形成した、金属被膜の表面を、上に向けて、加工途中の、水晶板13を、第1の加工補助具11の表面上に設置して、金属被膜を行なっている、表面上から、水晶板13を、研磨加工すると、最終目標とする、厚さ $10\mu\text{m}$ 内外の、水晶板13を、容易に、研磨加工することが出来ると同時に、水晶板13を、両面から、研磨加工したことになるので、水晶板13を、片面から、研磨加工することで発生する、歪みの発生を、最小限に、抑圧することが出来ることになり、水晶の特性を変化させることなく、極く薄い、水晶板13を研磨加工することが出来る。ちなみに、金を使用して、蒸着をした場合の、蒸着層の厚さは、 100\AA （オングスローム）から 200\AA の厚さにて、水晶板13の片面に、均一に、蒸着層を形成することが出来るので、蒸着層の厚さ自体は、水晶板13の、研磨を行なう厚さに、比較すると、厚さとしては、問題にならない厚さである。水晶板13の、片面に、金などの金属を使用して、蒸着することで、水晶板13を、途中まで加工しても、酸化セリ



•

1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100, 2101, 2102, 2103, 2104, 2105, 2106, 2107, 2108, 2109, 2110, 2111, 2112, 2113, 2114, 2115, 2116, 2117, 2118, 2119, 2120, 2121, 2122, 2123, 2124, 2125, 2126, 2127, 2128, 2129, 2130, 2131, 2132, 2133, 2134, 2135, 2136, 2137, 2138, 2139, 2140, 2141, 2142, 2143, 2144, 2145, 2146, 2147, 2148, 2149, 2150, 2151, 2152, 2153, 2154, 2155, 2156, 2157, 2158, 2159, 2160, 2161, 2162, 2163, 2164, 2165, 2166, 2167, 2168, 2169, 2170, 2171, 2172, 2173, 2174, 2175, 2176, 2177, 2178, 2179, 2180, 2181, 2182, 2183, 2184, 2185, 2186, 2187, 2188, 2189, 2190, 2191, 2192, 2193, 2194, 2195, 2196, 2197, 2198, 2199, 2200, 2201, 2202, 2203, 2204, 2205, 2206, 2207, 2208, 2209, 2210, 2211, 2212, 2213, 2214, 2215, 2216, 2217, 2218, 2219, 2220, 2221, 2222, 2223, 2224, 2225, 2226, 2227, 2228, 2229, 2230, 2231, 2232, 2233, 2234, 2235, 2236, 2237, 2238, 2239, 2240, 2241, 2242, 2243, 2244, 2245, 2246, 2247, 2248, 2249, 2250, 2251, 2252, 2253, 2254, 2255, 2256, 2257, 2258, 2259, 2260, 2261, 2262, 2263, 2264, 2265, 2266, 2267, 2268, 2269, 2270, 2271, 2272, 2273, 2274, 2275, 2276, 2277, 2278, 2279, 2280, 2281, 2282, 2283, 2284, 2285, 2286, 2287, 2288, 2289, 2290, 2291, 2292, 2293, 2294, 2295, 2296, 2297, 2298, 2299, 2300, 2301, 2302, 2303, 2304, 2305, 2306, 2307, 2308, 2309, 2310, 2311, 2312, 2313, 2314, 2315, 2316, 2317, 2318, 2319, 2320, 2321, 2322, 2323, 2324, 2325, 2326, 2327, 2328, 2329, 2330, 2331, 2332, 2333, 2334, 2335, 2336, 2337, 2338, 2339, 2340, 2341, 2342, 2343, 2344, 2345, 2346, 2347, 2348, 2349, 2350, 2351, 2352, 2353, 2354, 2355, 2356, 2357, 2358, 2359, 2360, 2361, 2362, 2363, 2364, 2365, 2366, 2367, 2368, 2369, 2370, 2371, 2372, 2373, 2374, 2375, 2376, 2377, 2378, 2379, 2380, 2381, 2382, 2383, 2384, 2385, 2386, 2387, 2388, 2389, 2390, 2391, 2392, 2393, 2394, 2395, 2396, 2397, 2398, 2399, 2400, 2401, 2402, 2403, 2404, 2405, 2406, 2407, 2408, 2409, 2410, 2411, 2412, 2413, 2414, 2415, 2416, 2417, 2418, 2419, 2420, 2421, 2422, 2423, 2424, 2425, 2426, 2427, 2428, 2429, 2430, 2431, 2432, 2433, 2434, 2435, 2436, 2437, 2438, 2439, 2440, 2441, 2442, 2443, 2444, 2445, 2446, 2447, 2448, 2449, 2450, 2451, 2452, 2453, 2454, 2455, 2456, 2457, 2458, 2459, 2460, 2461, 2462, 2463, 2464, 2465, 2466, 2467, 2468, 2469, 2470, 2471, 2472, 2473, 2474, 2475, 2476, 2477, 2478, 2479, 2480, 2481, 2482, 2483, 2484, 2485, 2486, 2487, 2488, 2489, 2490, 2491, 2492, 2493, 2494, 2495, 2496, 2497, 2498, 2499, 2500, 2501, 2502, 2503, 2504, 2505, 2506, 2507, 2508, 2509, 2510, 2511, 2512, 2513, 2514, 2515, 2516, 2517, 2518, 2519, 2520, 2521, 2522, 2523, 2524, 2525, 2526, 2527, 2528, 2529, 2530, 2531, 2532, 2533, 2534, 2535, 2536, 2537, 2538, 2539, 2540, 2541, 2542, 2543, 2544, 2545, 2546, 2547, 2548, 2549, 2550, 2551, 2552, 2553, 2554, 2555, 2556, 2557, 2558, 2559, 2560, 2561, 2562, 2563, 2564, 2565, 2566, 2567, 2568, 2569, 2570, 2571, 2572, 2573, 2574, 2575, 2576, 2577, 2578, 2579, 2580, 2581, 2582, 2583, 2584, 2585, 2586, 2587, 2588, 2589, 2590, 2591, 2592, 2593, 2594, 2595, 2596, 2597, 2598, 2599, 2600, 2601, 2602, 2603, 2604, 2605, 2606, 2607, 2608, 2609, 2610, 2611, 2612, 2613, 2614, 2615, 2616, 2617, 2618, 2619, 2620, 2621, 2622, 2623, 2624, 2625, 2626, 2627, 2628, 2629, 2630, 2631, 2632, 2633, 2634, 2635, 2636, 2637, 2638, 2639, 2640, 2641, 2642, 2643, 2644, 2645, 2646, 2647, 2648, 2649, 2650, 2651, 2652, 2653, 2654, 2655, 2656, 2657, 2658, 2659, 2660, 2661, 2662, 2663, 2664, 2665, 2666, 2667, 2668, 2669, 2670, 2671, 2672, 2673, 2674, 2675, 2676, 2677, 2678, 2679, 26

他の例としては、図 15 に示すように、第 1 の加工補助具 11 を使用せずに、第 2 の加工補助具 19 だけを使用して、水晶板 13 を、研磨加工することもできる。

【0023】

さらに、他の例としては、図 17 に示すように、第 1 の加工補助具 11 に、複数の孔 16 を形成する、孔 16 の数は、2 個又は 3 個が適当で、この孔 16 に水飴、蜂蜜、接着剤 59 のボンド又は、グリース又は、その他の接着剤 59 などの粘性物質を充填することで、水晶板 13 の下面を、粘性物質で密着させ、第 1 の加工補助具 11 と、水晶板 13 とを、孔 16 の面積だけで、点付けして固着する。又は孔 16 を使用して、真空吸着を使用してもよい。なお、孔 16 の配置としては、

17 (a) に示すように、同一円周上に配置したり、図 17 (b) に示すように、同心円状に配置する場合があるが、これらの例に限定されるものではない。又、第 1 の加工補助具 11 に形成している、孔 16 を使用して、第 1 の加工補助具 11 と、水晶板 13 とを、孔 16 の面積だけの、面積を使用して、第 1 の加工補助具 11 と、水晶板 13 とを、点付けして、極く一部分だけ、固着する場合には、第 2 の加工補助具 19 は、使用しなくてもよい場合がある。

尚、真空吸着を使用して、水晶板 13 を、加工補助具 11' の上面に吸着させて使用する場合には構造的に、両面研磨加工機械を使用することが出来ないので、片面研磨加工機械を使用する構造となる。ただし、真空吸着にて、加工補助具 11' の上面に吸着させる構造の図面は省略する。

【0024】

尚、上記の、第 1 の加工補助具 11 を、図 16 (a) に示すように、上部ラッピングプレート 18 (上の上板) と、下部ラッピングプレート 17 (下の上板) の、上下 2 枚のラッピングプレート 17 及び 18 を使用し、下部のラッピングプレート 17 は、水晶と円筒形状又はその他の形状を加工し、上部のラッピングプレート 18 は、リング形状、又は 4 角形状、又は六角形状、又はその他の形状の溝又は段差 12 を形成した、裏面を研磨加工して、両面研磨加工機械により、極く薄い加工物を研磨加工する。又、上記の第 1 の加工補助具 11 を、研磨加工が

しにくい、超鋼又は、鉄などの金属又は、硬質ガラスを使用して製作し、第2の加工補助具19を、硬質ガラス又は、超鋼又は、鉄などの金属を使用して製作すると、鉄などの金属で出来ている、上部のラッピングプレート18は、鉄などで出来ている、第1の加工補助具11を研磨加工し、下部のラッピングプレート17は、硬質ガラス又は超鋼又は鉄などの金属で出来ている、第2の加工補助具19と、水晶板13を加工するか、又は、図16(b)に示すように、図16(a)にて説明した手段とは、逆の状態に、第2の加工補助具19と、水晶板13を配置し、上部ラッピングプレート18で、第2の加工補助具19と、水晶板13を、研磨加工し、第1の加工補助具11を、下部ラッピングプレート17を使用して、研磨加工してもよい。

【0025】

図18及び図19に示しているのは、図13に示している、第1の加工補助具11と、第2の加工補助具19を使用して、形成した、加工補助具を使用して、研磨加工して出来た、水晶板13の、研磨加工された形状を示している。何故、図18に示している、水晶板13の形状と、図19に示している、水晶板13の形状が、異なるのかの理由は、図18に示している、第2の加工補助具19を製作している材質と、図19に示している、第2の加工補助具19を製作している、材質が異なる材質を使用して、加工補助具を製作しているためである。ただし、スウェード15（パッド、又はバフ）を貼ったラッピングプレート17及び18を、使用した場合のみで、鉄、又は錫などで出来ている、錫板のラッピングプレート17及び18の場合は、（ただし、錫板のラッピングプレート17及び18を使用した場合には、研磨剤65として、極く小さい、酸化セリウム、ダイヤモンド、GCなどの研磨剤65を使用する必要性がある）図18の形状と同じ形状となる、図18に示している、第2の加工補助具19は、水晶板13の、硬さとほぼ同じ硬さの、石英を原料とした、硬質ガラスを使用して、第2の加工補助具19を、製作しているのに対して、図19に示している、第2の加工補助具19は、水晶板13よりも、よりもっと、研磨加工がしにくい、プラスチック、又は硬い金属である、超鋼又は鉄などを使用して、第2の加工補助具19を、製作していることの相違による。ただし、研磨剤65として、酸化セリウム、又

はその他の、研磨剤 65 を使用することが、条件となる。理由は、酸化セリウムなどの、研磨剤 65 を使用すると、水晶板 13 及び硬質ガラスなどは、同じ石英なので、酸化セリウムを使用すると、両方ともに、良く研磨加工することが出来る。けれども、超鋼又は鉄などの金属は、酸化セリウムを使用しては、ほとんど、研磨加工することが出来ない、けれども、酸化セリウムなどの、研磨剤 65 を使用すると、水晶板 13 は、良く研磨加工することが出来るので、超鋼又は、鉄などの金属で出来ている、第 2 の加工補助具 19 の研磨加工を、水晶板 13 の研磨加工よりも、遅延させることが出来るからである。此の相違点が、図 18 に示している、水晶板 13 の形状と、図 19 に示している、水晶板 13 の形状が異なる理由である。図 19 に示している、水晶板 13 の出来上がりの、寸法図は、図 18 に示している水晶板 13 よりも、図 19 に示している水晶板 13 のほうが、図中にて示しているように、厚さが $5\mu\text{m}$ 前後、図 18 と比較して、図 19 のほうが薄く加工することが出来るので、下記のような利点もある。

- ① 第 2 の加工補助具 19 を、超鋼などの金属を使用して製作することで、第 2 の加工補助具 19 の高さよりも、水晶板 13 を、数 μm 、例えば、 $5\mu\text{m}$ 程度、低く（薄く）加工することが出来るので、両面研磨加工機械を使用して、研磨加工を行っても、加工途中において、水晶板 13 が、第 2 の加工補助具 19 より離脱して、破損することがなくなる。
- ② 水晶板 13 の直径が 1 i n c h から 2 i n c h 以上の直径の、大口径の水晶板 13 の加工が出来る。
- ③ R I E 加工、又はその他の化学的な W e t エッチング加工を行ったあとに出来る、 $0.2\mu\text{m}$ から数 μm の凸凹面の、加工変質層を除去して鏡面に研磨加工を行う、修正加工に利用することが出来る。
- ④ 極く薄い、水晶板 13（例えば、 $5\mu\text{m}$ 前後の厚さ）の研磨加工を行うことが出来る。
- ⑤ 図 18 に示している手段よりも、図 19 に示している手段のほうが、極く薄い、水晶板 13 の加工を行うことが出来るが、図 18 に示している手段を使用しても、極く薄く加工が出来るので、どちらの手段を使用してもよい。
- ⑥ 第 1 の加工補助具 11 に、第 2 の加工補助具 19 を固定するには、松脂又は

パラフィンなどの、低温にて溶解する接着剤を使用して、第1の加工補助具11に第2の加工補助具19を固定すると、たとえ、第1の加工補助具11の上面に、接着剤60を使用することなく、ただ水晶板13を置くだけでも、水ばりの効果にて、研磨加工が終了したあと、水晶板13を第1の加工補助具11より離脱させる場合、70℃前後に、加工補助具を加熱して、図中に示している、穴64より矢印の方向に、棒を挿入して、第2の加工補助具19を突き上げて、第1の加工補助具11より、第2の加工補助具19を離脱させると、第1の加工補助具11の上面に置いている水晶板13も、容易に第1の加工補助具11より離脱させることが出来る。

⑦ 水晶板13の外周部分である、外側の部分が、周辺ダレを生じることがないので、中心部分の厚さと、外周部分の厚さに、図18及び図19にて示している手段である、硬質ガラス及び超鋼を使用することで、周辺ダレがなくなり、平行精度がよくて、平行精度にバラツキが発生しない利点があるので、歩留まりがよくなる。

【0026】

もう1点、上記の研磨加工を行なう場合の、重要なポイントは、研磨加工を行なうときには、通常、両面ともに、パッド、又はスウェード、又は不織布（以後、スウェード15とする）を、貼った、ラッピングプレート17及び18を使用して、研磨加工するのであるが、図19に示している、凹レンズ形状の、水晶板13を製作する場合には、例えば、片面が、鉄などの金属板で出来ている、ラッピングプレート17を使用して、もう一方の片面は、スウェードを15貼ったラッピングプレート18を使用して、研磨加工することで、図16（b）に示しているように、上部ラッピングプレート18にスウェード15を張った、ラッピングプレート18を使用し、下部ラッピングプレート17を、鉄などの金属板で出来ている、ラッピングプレート17を使用した構成にして、研磨加工することで、超鋼又は鉄などの金属で出来ている、第1の加工補助具11の裏面を、金属板で出来ている、ラッピングプレート17を使用して研磨加工する、条件になるので、ラッピングプレート17を形成している、金属板の硬さと、第1の加工補助具11を形成している、金属の硬さを、ほぼ同等とすることで、第1の加工補助

具 1 1 の裏面は、出来るだけ、研磨加工が出来にくい、条件となる、条件に設定して、上部ラッピングプレート 1 8 に張っている、スウェード 1 5 を使用して、研磨加工すると、水晶板 1 3 の出来上り精度を、容易に高めることが出来る。

尚、両面研磨加工機械を使用して、図 1 9 に示している形状の、水晶板 1 3 を研磨加工することが出来ることで、水晶板 1 3 の出来上がりの、再現性又は、精度が、極限まで高い精度の、水晶板 1 3 を、安いコストにて、多量に生産することが出来る利点もある。

【 0 0 2 7 】

尚、図面は省略しているけれども、上記にて説明した、研磨加工手段である、第 1 の加工補助具 1 1 と第 2 の加工補助具 1 9 を使用して、形成した、加工補助具の、他の使用方法としては、両面研磨加工機械以外の機械である、片面研磨加工機械、又はその他の研磨加工機械を使用しても、図 1 8 及び図 1 9 に示している、平板形状、又は図 2 6 に示している形状の、凹レンズ形状の水晶板 1 3 を、容易に、多量に、研磨加工することが出来る。

【 0 0 2 8 】

さらに、第 1 の加工補助具 1 1 と、第 2 の加工補助具 1 9 を使用して、形成した、加工補助具を使用して、図 1 9 に示しているような形状に、水晶板 1 3 を、両面研磨加工機械、又は、片面研磨加工機械を使用して、研磨加工する場合、図 2 5 又は、図 3 2 に示しているような、加工手段を使用して、あらかじめ凹レンズ形状、又は平板形状に研削加工し、図 2 6 に示しているような、凹レンズ形状に、水晶板 1 3 を、研削加工を行なうか、又は、水晶板 1 3 の、中心部分に、マスクをかけて、中心部分だけに、エキシマレーザーなどの、レーザー照射を行ない、最初の厚さが、例えば、 $40\mu\text{m}$ の水晶板 1 3 の、中心部分だけを、例えば、1 回の熱照射パルスで、 $0.1\mu\text{m}$ 程度の加工層を除去し、合計で、200 パルス程度の熱照射パルスを行ない、図 4 (a) に示しているような、深さが、例えば、 $20\mu\text{m}$ 程度の、凹レンズ形状 (逆 MESA 型) の形状に、レーザーを使用して、加工するか、又は、フッ化水素酸、塩化アンモニウムなどの、化学薬品を使用して、水晶板 1 3 を化学的な Wet エッチング加工し、水晶板 1 3 の、中心部分だけを、凹レンズ形状に、加工を行うか、又は、フッ素系ガスなどを使用

した、イオンミーリング、又はプラズマエッチングなどの加工手段を使用して、水晶板 1 3 の、中心部分だけを、凹レンズ形状に加工を行うか、又は砂かけなどの加工手段を使用するか、又は、その他の加工手段を使用して、水晶板 1 3 を、凹レンズ形状に、加工を行った後、その後の加工行程として凹レンズ形状に、加工した、水晶板 1 3 を、図 1 3 に示しているような、加工補助具を使用して、研磨加工するか、又は、図 1 3 に示しているような、加工補助具を使用することなく、図 2 0 に示している、キャリア 3 7 を、直接に使用して、水晶板 1 3 に、キャリア 3 7 を使用して、水晶板 1 3 を、遊星運動させる、両面研磨加工機械を使用して、水晶板 1 3 に形成している、加工変質層を除去するために行う、仕上げの、研磨加工を行なう加工行程とすると、図 2 6、図 4 5 及び図 4 6 に示しているような、精度の高い、凹レンズ形状又は平板形状の、水晶板 1 3 を、短時間に、多量に、製造することが出来る。

【 0 0 2 9 】

上部及び下部のラッピングプレート 1 7 及び 1 8 は、図 2 0 及び図 2 1 に示すように、スラリー（遊離砥粒）の供給とともに回転させることで、第 1 の加工補助具 1 1 を、載せたキャリア 3 7 を、太陽ギア 3 9 と、インターナルギア 3 8 の間に設置し、第 1 の加工補助具 1 1 を太陽ギア 3 9 の回りに、公転するとともに、自転する、遊星運動をさせて、片面は、水晶板 1 3 の上の面を、下部ラッピングプレート 1 7 を使用して研磨加工し、第 1 の加工補助具 1 1 の、もう一方の片面は、上部ラッピングプレート 1 8 を使用して研磨加工すると、極く薄い水晶板 1 3 を、容易に研磨加工することができる。片面研磨加工機械を使用する場合も、上記の研磨加工手段と、同じ手段にて、水晶板 1 3 を、研磨加工することが出来る。

【 0 0 3 0 】

さらに、上記の手段にて、極く薄い水晶板 1 3 を加工したあと（例えば、厚さが $10\mu\text{m}$ の場合）では、水晶板 1 3 が、極く薄い為に、取り扱いに苦勞することと、水晶板 1 3 に電極を形成するのにも、困難をとまなうので、図 2 2 に示すように、絶縁体、又は非絶縁体で出来ている、固定用枠 4 8 の中心に、水晶板 1 3 を設置し、ボンディングマシンを使用して、極く細い、金線 4 9（例えば、

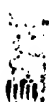
18 μ m 程度) を使用して、固定用棒 4 8 に、水晶板 1 3 を固定する。水晶板 1 3 を、固定用棒 4 8 に固定したあとは、図 2 3 (a) に示しているように、金線 4 9 に弛みがあるので、図 2 3 (b) に示しているように、水晶板 1 3 の全面を、下から持ち上げるか、又は、その他の手段にて、金線 4 9 の弛みを是正して、金線 4 9 を、直線状態にはると、なおよい。又、図 2 2 に示しているのは、図 2 3 に示しているような手段にて、固定用棒 4 8 に、金線 4 9 を使用して、最低、3 つの方向から、水晶板 1 3 を固定すると、極く細い、金線 4 9 を使用して、空中に、水晶板 1 3 を、固定しているような状態になることで、水晶板 1 3 の振動を、金線 4 9 が吸収するので、水晶の、特性を、極限まで、高めることが出来る。

【0031】

さらに、図 2 3 に示しているように、水晶板 1 3 を、固定用棒 4 8 に、金線 4 9 を使用して固定したあと、図 2 4 に示すように、水晶板 1 3 の中心部分に電極を設けるために、水晶板 1 3 の中心部分の、極く一部分だけを、金などを使用して、蒸着を行った後、その蒸着した、水晶板 1 3 の中心部分に両面から、ボンディングマシンを使用して、水晶板 1 3 と、固定用棒 4 8 の間を、金線 4 9 を使用して、結線し、此の金線 4 9 を、水晶板 1 3 の中心に取り付ける、電極 5 0 として使用することで、従来、使用している電極(例えば、水晶板の表裏に蒸着して形成している電極)と、比較すると、水晶板 1 3 の中心部分だけに、極く、細い金線 4 9 (18 μ m 位) を使用して、電極 5 0 を、形成することが出来るので、水晶の特性を低下させることがない。

【0032】

図 2 5 は、片側凹面の水晶板 1 3 を製造する装置を示すものである。図 2 5 において、11 は第 1 の加工補助具、19 は第 2 の加工補助具、41 は加工補助具 11, 19 を低速回転(例えば 100 ~ 300 r p m) させるモータ、43 は研磨具 44 を高速回転(例えば 5000 r p m) させるモータである。研磨具 44 としては、フェルト、綿棒、バフ等の柔らかい器具を用い、酸化セリウム又は G C 又はダイヤモンド等の研磨剤 65 を使用して、1 分間に 1 μ m 位、研磨していく。最初の厚みが 40 μ m 程度の、円板状の水晶板を、図 2 6 に示すように、中



心が $10 \sim 2 \mu\text{m}$ の厚みの、凹レンズ形状の水晶板 1 3 に仕上げる。又、図 2 5 に示しているような、構造の装置を使用して、水晶板 1 3 を、凹レンズ形状に、加工することも出来る、此の場合に使用する、研磨具 4 4 としては、ダイヤモンド砥粒を、電気メッキしたホイルで出来ている、研磨具 4 4 を使用すると、容易に、凹レンズ形状に、水晶板 1 3 を、加工することが出来る。その後、凹レンズ形状に、加工した後の、水晶板 1 3 の仕上げ工程を、両面研磨加工機械、又は片面研磨加工機械を使用して、研磨加工すると、図 4 3 (b) に示しているような、凹レンズ形状の水晶板 1 3 に、研磨加工して、仕上ることが出来る。

【 0 0 3 3 】

加工補助具としては、図 2 5 に示した構造のほか、図 2 7、図 2 8 及び図 2 9 に示すように、水晶、超鋼、プラスチック、石英、ガラス又はその他の金属板を使用して、図中に示している平板形状の加工補助具 1 1 a、又は加工補助具 1 1 b を製作して、斜線、又は黒塗りにて示している部分を、松脂、パラフィンなどを使用して、接着剤層 5 9 を形成して、平板形状、又は凹レンズ形状を形成した、水晶板 1 3 を加工補助具に固定して、水晶板 1 3 と加工補助具を、一体化した水晶板 1 3 と加工補助具を、図 1 6 に示している、両面研磨加工機械（ラップ盤）を使用して、片面のラッピングプレート 1 7 は加工補助具を研磨加工して、もう一方の片面の、ラッピングプレート 1 8 は水晶板 1 3 を研磨加工した後、水晶板 1 3 を加工補助具より剥離する構成にて、水晶板 1 3 を研磨加工するならば、ラップ盤にて使用する、キャリア 3 7 の厚さに関係なく、水晶板 1 3 を、極く薄く、精度の高い加工が出来る、両面研磨加工が出来る、両面研磨加工機械を使用して、片面研磨加工を行なう手段とするか、又は片面研磨加工機械を使用するか、又は手作業による研磨加工を行なうか、又はその他の研磨加工手段としてもよい。

又、水晶板 1 3 を貼りつけて研磨加工を行なうのに使用する、加工補助具 1 1 a、1 1 b 及び 1 1 c を製作する素材としては、熱膨張が同じ素材である、水晶を使用して加工補助具 1 1 a、1 1 b 及び 1 1 c を製作すると、松脂、パラフィン、Agarose などを使用して貼り付ける場合に、 70°C から 100°C 前後に加熱しても、加工補助具 1 1 a、1 1 b 及び 1 1 c と、水晶板 1 3 の熱膨張率

が全く同じなので、70℃から100℃に加熱しても、又急速に、常温に冷却しても、水晶板13に応力が発生して、歪が発生することがなくなる。

水晶と、ほぼ熱膨張率が同じ素材である、石英ガラスを使用して、加工補助具11a、11b及び11cを製作してもよいが、出来るだけ、水晶板13と熱膨張率が同じ、水晶を使用して、加工補助具11a、11b及び11cを製作したほうが良い。

尚、加工補助具の構造としては、図27に示している加工補助具11aよりも、図28に示している加工補助具11bの形状のほうがよい、何故ならば、接着剤層59（斜線の部分）を形成しているのが、加工補助具11aは、水晶板13を加工補助具11aに固定するのに、水晶板13の裏面の全面に塗布しているのに対して、加工補助具11bの形状の場合には、水晶板13を加工補助具11bに固定するのに、水晶板13の側壁の部分に接着剤層59を形成して、水晶板13を加工補助具11bに固定することで、水晶板13の側壁を保護することが出来ることと、加工補助具11bと水晶板13との間に接着剤層59が存在しないので、水晶板13を加工補助具11bに密着させることが出来ることで、精度の高い水晶板13の研磨加工を行うことが出来る。

【0034】

また、図29に示している構造の形状の、加工補助具11cを、水晶、石英ガラス、又は超鋼などを使用して、溝52を形成した加工補助具11cの構造の、加工補助具11cを使用すると、図28に示している加工補助具11bよりも、下記の点でなおよい。

- ① 平板形状、又は凹レンズ形状を形成した水晶板13の厚さが、10 μ mから80 μ m前後と、極く薄いので、溝52を形成した加工補助具11cを使用したほうが、接着剤層59の厚さを厚く形成することが出来る構造なので、極く薄い、水晶板13でも、水晶板13の側壁を使用して、水晶板13を、加工補助具11cに固定することが出来る構造であるからである。
- ② 加工補助具11cの構造は、接着剤層59の厚さを、いくらでも厚くすることが出来る構造であるので、水晶板13が、極限まで、薄くなっても、加工補助具11cに固定することが出来る構造である。

【 0 0 3 5 】

次に、本発明の圧電素子の応用例として、音響－電気変換器について説明する。

従来の、地震探査・予知には、現在、海洋観測、地下構造探査、地球磁気観測、GPSによる観測、2点間の距離のレーザ測定による、地核の移動測定などが行われているが、地震や津波による、空気の振動を観測することも、一つの予知方法である。

【 0 0 3 6 】

空気の振動を、記録や分析が、容易な電気信号に変換する手段として、集音マイクがあるが、雑音を拾いやすく、目的の振動数の音波を検出することが困難である。

【 0 0 3 7 】

図30(a)～(e)は、本発明の圧電素子を利用した、音響－電気変換器の、各実施例を示すものであり、水晶又は、ニオブ酸リチウム又は、その他の単結晶又は、チタン酸バリウム又は、その他のセラミックスなどの、圧電効果を有する材質からなる、円筒21又は、円筒54の中央部に、受圧面22を形成し、その受圧面22に、一对の電極23, 24を形成し、電極23, 24間の、誘起電圧を測定するための、増幅器25を接続している。(電極23, 24及び増幅器25は図30(a)のみ図示している)。図30(a)は両凸レンズ(bi-convex)型、(b)は両凹レンズ型、(c)は平面型、(d)は周囲にRを形成した平面型、(e)は片凸(plano-convex)型を示している。図30(a)に示しているように、栓55を、2個使用して密封し、円筒21内部を密封して、A室を形成し、円筒54内部を密封して、B室を形成し、円筒21内部を密封した、A室内部も、又、円筒54内部を密封した、B室内部も、ともに、減圧(出来れば真空状態)した構造の、円筒21及び円筒54の、左右の円筒21及び円筒54が、横軸方向及び縦軸方向の振動を、キャッチすることで、円筒21及び円筒54の中心部分に形成している、受圧面22を、円筒21及び円筒54を形成しない場合に、比較すると、より強く受圧面22が、振動をキャッチする構造になっている。なお、上記の理由から、円筒21及び円筒54の

、直径が小さくて、長さが長いほど、外部からの、振動を、受圧面 2 2 が、受けやすくなるので、精度の高い、圧力センサーが出来ることになる。

尚、A 室、及び B 室内部を減圧させない場合には、不活性ガスを注入するとよい。

【0038】

図 3 1 は、図 3 0 (a) 及び (e) に示している、上面図で、穴又は空間部分 4 7 を形成して、円筒 2 1 及び円筒 5 4 の、左右の円筒 2 1 及び円筒 5 4 を振動させた振動が、図 3 0 (a) 及び (e) に示している、A の部分から B の部分に、又は、B の部分から A の部分に、円筒 2 1 及び円筒 5 4 を、振動させた振動が、両端から、自由に移動することで、円筒 2 1 及び円筒 5 4 を振動させた振動（A の部分を、振動させた振動と、B の部分を振動させた振動）が、円筒 2 1 及び円筒 5 4 の、両端から、自由に、移動することで、A の部分を振動させた振動と、B の部分を振動させた振動が、中心部分において、共鳴して、共鳴現象を起すことで、穴又は空間部分 4 7 を形成しない場合に、比較すると、より強く、中心部分に形成している、受圧面 2 2 を振動させる構造をしている。

【0039】

次に、受圧面 2 2 の形成方法について説明する。基本的には、図 3 2 に示すように、水晶又は、チタン酸バリウム又は、ニオブ酸リチウム又は、その他のセラミックスなどの、圧電効果を有する材質からなる、材質の丸棒 3 0 を、旋盤などの加工機械のチャック 3 1 で把持し、また金属球の表面に、ダイヤモンド砥粒を付着させた、砥石 3 2 を先端に、回転自在に設けた、加工工具 3 3 を、ツール保持具 3 4 で把持する。砥石 3 2 は、図 3 3 に示すように、対向面がカットされた球体であり、支持アーム 3 5 の先端に、軸受け 3 6 を介して、回転自在に取り付けられている。砥石 3 2 の周面には、図 3 4 (a) 及びその A-A 拡大断面図である、図 3 4 (b) に示すように、V 字状溝 3 2 a が形成されており、溝 3 2 a の内壁の一方が、砥石 3 2 の中心を通る面に含まれるような、方向性を有している。この砥石 3 2 は、エアノズル 4 0 から、砥石 3 2 の周面に対して、接線方向に噴射される、空気のジェット流により高速回転（好ましくは 8,000 ~ 50,000 rpm）され、被研削面をゆっくりと時間を掛けて（例えば毎分 1 μm

）削っていく。この研削時に、噴水ノズル 41 から、水を噴射して、砥石 32 の冷却と、削り屑の排出を行う。丸棒 30 は、砥石 32 が回転駆動されるとき、図 32 に示すように、軸心の回りに回転駆動され、従って砥石 32 により、円形形状又は、円筒形状の穴が形成される。又、上記にて説明した、研削又は研磨加工の手段の、他の利用方法としては、図 36 (e) に示しているような、砥石 32 ” を使用することで、図 2、図 3 及び図 4 に示しているような形状又は、その他の形状の、研削又は研磨加工に応用することが出来る。

【0040】

尚、受圧面 22 の研磨面が凸状の場合は、図 36 ((a) は正面図、(b) は平面図) に示すように、鼓型の砥石 32' を使用する。受圧面 22 の研磨面がフラットな場合は、図 36 (c) に示すような、フラットな砥石 32 ” を使用する。あるいは、図 37 に示すように、穴径よりもずっと小さい径の砥石 32 を用い、図 33 に示す加工工具 33 と同じ、回転駆動を砥石 32 に与える加工工具 33 を、NC 装置などで受圧面の、曲面に沿って移動させながら砥石 32 を回転させる。同時に、チャック 31 を回転させて丸棒 30 を回転させながら受圧面を加工する。又、穴又は空間部分 47 を形成する手段としては、図 36 (d) に示すような形状の砥石 32 ” を使用すると、保持部分 47 を残して、容易に、穴又は空間部分 47 を加工することが出来る。又、穴又は空間部分 47 を形成する手段としては、通常のダイヤモンドを電着した、ドリルを使用しても、穴又は、空間部分 47 を形成することは、可能である。

【0041】

尚、円形形状の穴の加工には、通常の軸の回りに回転する工具も使用でき、図 38 に示すような球面形状の砥石や、図 39 に示す円板面形状の砥石も使用できる。又、砥石 32 を使用して、研削加工が終了したならば、砥石 32 と同じ構造をした、研磨用の研磨用砥石 32 ” ” を、フェルト又は、バフなどの素材を使用して製作し、研磨用砥石 32 ” ” と、砥石 32 を取り換えて、研磨用砥石 32 ” ” を使用して、研磨加工すると、仕上加工が出来る。フェルト又は、バフで出来ている、研磨用砥石 32 ” ” の回転駆動の手段も、砥石 32 を回転駆動させる手段と同じく、フェルト又は、バフに溝 32 (a) を形成して、エアノズル 40

を使用しての、回転駆動とすると、容易に、研磨加工を行うことが出来る。

【0042】

図40及び図41に示しているのは、図33に示している構造をした、研削及び研磨装置の製作図である。実際に製作した、砥石32の直径は20mmで、溝32(a)の深さは、1mmで、溝の数は、16個形成した構造の、研削及び研磨装置に、エアノズル40から、砥石32の周面に対して、接線方向に、噴射した空気圧と、砥石32の回転数を、実測した実測値の、回転数が下記の数字である。

- ① 空気圧が、0.5気圧の場合の、砥石32の回転数は、約12,200回転の回転数である。
- ② 空気圧が、1.0気圧の場合の、砥石32の回転数は、約22,000回転の回転数である。
- ③ 空気圧が、2.0気圧の場合の、砥石32の回転数は、約37,500回転の回転数である。
- ④ 空気圧が、3.0気圧の場合の、砥石32の回転数は、約47,800回転の回転数である。
- ⑤ 空気圧が、4.0気圧の場合の、砥石32の回転数は、ベアリングが耐えることが出来る限界である、約50,000回転の回転数である。

【0043】

なお、図40及び図41に示している構造の、研削及び研磨装置に、研削用の砥石32の代わりに、鉄、アルミニウム、銅などの金属又は、バフ又は、フェルト又は、ガラス又は、プラスチック又は、セラミックス又は、その他の研磨用材質で、図36に示している、研磨用砥石32”(e)を製作して、研磨用砥石32”(e)と、研磨剤として、ダイヤモンドペースト又は、酸化セリウム又は、アルミナ又は、GC又は、その他の研磨剤を使用して、図2(a)、図3(a)及び図4(a)に示しているような形状に、図32に示している、加工方法を使用して、水晶などの圧電素材を、研削と研磨加工を、同時に行う構成とする。研削と研磨を、同時に行うことが出来る、理由としては、研磨用砥石32”(e)の回転数を、ベアリングが耐えることが出来る、限界である、50,000



0回転までの回転数にて、研磨用砥石 3 2 " " (e) を容易に、駆動させることが出来るがために、研磨加工だけでも、極く短い時間に、能率よく、研磨加工が出来るがために、極く薄い、水晶などの圧電素材であれば、フェルト、バフ、鉄などで出来ている、研磨用砥石 3 2 " " (e) を使用して、研削と研磨加工の、2つの加工を、同時に行うことが出来る。

【 0 0 4 4 】

図 4 2 (a) に示しているのは、角速度センサー又は、角速度センサーを製作するために、ニオブ酸リチウム、又はニオブ酸カリウムなどの、圧電素材で出来ている、圧電板 5 7 で出来ている、圧電板 5 7 の厚い板、例えば、3 5 0 μ m 位の、厚い板と、薄い圧電板 5 7、例えば、2 5 μ m 位の板を、絶縁体で出来ている、接着剤層 5 9 を使用して、両面から、貼り合わせて、合板した、圧電板 5 7 を示している。

【 0 0 4 5 】

図 4 2 (b) に示しているのは、図 1 に示している、加工手段を使用して、圧電板 5 7 の、厚い板の中心部分に、直径が 3 mm 位の、円形状の、凹レンズ形状 (Inverted mesa 型) に加工し、その厚さを、2 5 μ m として、接着剤層 5 9 を、挟んで、合計 5 0 μ m とした、静電容量型の、角速度センサーに使用する、加工に成功した、例を示している。このニオブ酸リチウム又は、ニオブ酸カリウムは大変に、加工が難しい素材であるけれども、図 1 に示している、加工手段を使用すれば、素材に、熱による影響を与えることなく、高い精度にて、容易に加工することが出来る、ことが判明した。ニオブ酸リチウムの場合、許容温度差としては、2 0 $^{\circ}$ C 以内の温度差しか、許容温度差が許されない点が、加工が難しいところである。

【 0 0 4 6 】

図 4 3 (a) に示しているのは、水晶板 1 3 にレジストを塗布してマスキングして金属被膜、又はその他の材質で出来ている被膜などを形成し、水晶板 1 3 にマスクをかけて、フッ化水素酸などを使用し、化学的な wet エッチング、又は C_2F_6 又は CHF_3 などのフッ素系ガス、又は塩素系ガスを使用した R I E 加工、又はその他の化学薬品を使用し、エッチング加工を行なった水晶板

13の中心部分に、例えば、直径が1.5mmの、凹レンズ形状（逆MESA形状）に、化学的なwetエッチング加工、又はRIE加工を行って形成した、水晶板13の形状を図示している。水晶板13、又はその他の圧電素材を、フッ化水素酸などの、化学薬品を使用してエッチング加工すると斜線にて示している、外周部分の形状が、ムの字の形状（床掘り形状）となり、蒸着を使用して、電極を形成する場合、斜線の部分が、影となり、電極を形成することが出来にくいという、欠点がある。又、RIE加工の場合でも、ムの字の形状にはならないけれども、エッチング加工した表面に対して、ほぼ、直角となるので、RIE加工の場合でも、蒸着を使用するの、電極を形成することが出来にくいという欠点がある。

【0047】

図43（b）に示しているのは、図43（a）にて説明した、化学的なwetエッチング加工の欠点を修正するためと、化学的なWet Etching加工、又はRIE加工の加工手段にて発生した、加工変質層（フッ素化合物）を除去する目的のために、図20に示している、両面研磨加工機械を使用して、例えば、上部ラッピングプレート18は、パッド、又はスウェード15を貼った、ラッピングプレートを使用し、下部ラッピングプレート17は、錫板、又は鉄などの、金属製のラッピングプレートを使用するか、又は、両面とも、パッド、又はスウェード15を貼った、ラッピングプレート17及びラッピングプレート18を使用して、図43（a）に示している、水晶板13を凹レンズ形状にエッチング加工した、水晶板13の凹レンズ形状部分を、パッド、又はスウェード15を使用して、酸化セリウム、ダイヤモンド、GCなどの研磨剤65を使用して、研磨加工すると、図43（b）に示しているような、スムーズライン53を形成することが出来ること、第1の利点である。さらに、第2の利点は、研磨剤65が、凹レンズ形状の内部に、上下のラッピングプレート17及び18の研磨圧力を受けて、溜まるがために凹レンズ形状の内部を、上部ラッピングプレート18を使用して、どんどんと、段階的に、研磨加工することが出来ることと、下部ラッピングプレート17の、両面から、凹レンズ形状を形成している表面と裏面を、同時に、研磨加工することが出来ることで、極限まで、薄い、例えば、0.5μ



を、接着剤などを使用して貼りつけるか、又はその他の手段を使用して、ケンビに取り付けて、凹レンズ形状を形成した裏面を、片面研磨加工機械を使用して研磨加工すると、容易に、極く薄い水晶板 1 3 を、研磨加工することが出来る。

【 0 0 4 9 】

図 4 4 に示しているのを順番に説明すると、下記の通りである。

① 図 4 4 (a) に示しているのは、水晶板 1 3 に、R I E 加工、又は化学的な w e t エッチング手段を使用して、深さが 1 5 μ m の凹レンズ形状を形成している。

② 図 4 4 (b) に示しているのは、図 1 3 に示している、第 1 の加工補助具 1 1 を使用して、凹レンズ形状を形成した面を、第 1 の加工補助具 1 1 を使用して、水晶板 1 3 を保持している。

③ 図 4 4 (c) に示しているのは、機械的な研磨加工手段を使用して、5 9 . 5 μ m 削り取っている状態を示している。この場合、機械的な手段だけで、5 9 . 5 μ m の、全てを、削り取ると、水晶板 1 3 に、歪が発生するので、最初に、R I E 加工、又はプラズマエッチングなどのエッチング手段を使用して、5 9 . 0 μ m 程の厚さを、化学的な手段を使用して、削り落とした後、残りの、0 . 5 μ m 程を、機械的な、研磨加工手段を使用して削り落とすと、一切の歪が発生することがない、又 R I E 加工にて発生した加工変質層を除去することが出来る。

④ 図 4 4 (d) に示しているのは、最終段階として、再度、w e t エッチング加工を使用して、微調整の修正を行って、出来上がりとなる。

【 0 0 5 0 】

図 4 5、又は図 4 6 に示しているのは、直径が 1 . 0 i n c h で、厚さが 8 0 μ m の厚さに、機械研磨加工された水晶板 1 3 の基盤を、最初に、図 4 5 (b) に示しているように、R I E 加工、又は w e t エッチング加工にて、6 2 μ m を除去して、その後、図 4 5 (c)、及び図 4 5 (d) に示しているように、第 1 の加工補助具 1 1 と、両面研磨加工機械、又は片面研磨加工機械を使用して、R I E 加工、又はその他の化学的なエッチング加工を行うことで、発生した、数 μ m の凸凹、例えば、6 μ m を、機械的な研磨加工を行うことで、精度が高くて、



極く薄い、例えば、 $10\mu\text{m}$ 内外の、水晶板 13 を加工することが出来る状態を示している。

尚、最終仕上げ工程では、出来るだけ R I E 加工は使用せずに、化学的な W e t エッチング加工、又は機械研磨加工を最終仕上げの加工とすると、水晶板 13 の電氣的な特性が低下することなく、水晶板 13 の電氣的な特性がよい。又、極く薄く（厚さが $14\mu\text{m}$ 前後）水晶板 13 を、機械的な研磨加工を使用して加工した水晶板 13 ならば、フッ化水素酸、 NH_4HF_2 、又は NF などを使用した、化学的な W e t E t c h i n g を使用して、両側面から数 μm 除去しても、化学的な W e t E t c h i n g の欠点である、ピンホール（穴）が出来ることはない利点がある。厚さが $10\mu\text{m}$ 内外となると、化学的な W e t E t c h i n g を使用して加工すると、すぐに、ピンホールが出来るのが、化学的な W e t E t c h i n g の欠点であるからである。

【0051】

図 45（c）、及び図 46（c）に示している、第 1 の加工補助具 11、及び 11' は、鉄などの金属を使用して製作し、第 2 の加工補助具 19 は、超鋼などの金属を使用して製作するとよい。又、研磨加工機械としては、片面研磨加工機械を使用してもよいし、両面研磨加工機械、超音波加工機、又はその他の研磨加工機械を使用してもよい。

さらに、水晶板 13 を第 1 の加工補助具 11、又は 11' に固定する手段としては、第 1 の加工補助具 11、又は 11' に形成している孔 16 を使用して、図面に示している矢印の方向に、真空吸着にて、第 1 の加工補助具 11、又は 11' の表面上に水晶板 13 を吸着させる構造としてもよい。

尚、真空吸着を使用して、水晶板 13 を、吸着させる構造とするには、片面研磨加工機械を使用する以外には、構造上真空吸着にて、水晶板 13 を、第 1 の加工補助具 11、又は 11' に吸着させて、機械的な研磨加工を行うことは出来ない。ただし、真空吸着を使用して、第 1 の加工補助具 11、又は 11' の上面に、水晶板 13 を吸着させる構造は、図面を省略している。

【0052】

図 45、又は図 46 に示しているのを加工の順番に、実際に、行った実験結果

から説明すると、図 4 5 (b) 及び、図 4 6 (b) に示しているように、R I E 加工にて、 $62\mu\text{m}$ 除去すると、第 1 に、 $1\mu\text{m}$ から $6\mu\text{m}$ 内外の加工変質層、又は凸凹が発生する、この凸凹が発生する原因は、R I E 加工を行なう以前の加工である、図 4 5 (a) に示している、厚さが $80\mu\text{m}$ で、直径が 1inch の水晶板 1 3 を、機械的な研磨加工を行なうときに出来た、極く小さなキズ（例えば、 $0.01\mu\text{m}$ 位）と、第 2 に、水晶板 1 3 に含まれている、極く小さな不純物に対して、R I E 加工によるイオン粒子が激突を繰り返すことで、極く小さなキズと、極く小さな不純物が、イオン粒子の激突により拡大した凸凹である。又、この凸凹とは別に、R I E 加工による加工変質層の発生が起こる、これは水晶板 1 3 の表面上が、イオン粒子の激突による高温にて、厚さとして $0.2\mu\text{m}$ から $1\mu\text{m}$ 内外、溶解するがために、石英となるか、又はシリコンの単結晶となるか、又は使用したイオン粒子と化合して化合物となるか、又は酸化物となって、非晶質すなわちアモルファスとなって、水晶板 1 3 としての結晶性がなくなる。

上記 2 つの原因からなる加工変質層を除去する目的にて、 $0.2\mu\text{m}$ から $6\mu\text{m}$ 内外の凸凹を、機械的な、研磨加工を行って除去する目的にて、第 1 の加工補助具 1 1、又は 1 1' と、第 2 の加工補助具 1 9 を使用して製作した、加工補助具を使用する場合、第 2 の加工補助具 1 9 を製作する材質を、酸化セリウムなどの研磨剤では、研磨加工が出来にくい材質である、超鋼などの金属材料を使用して製作すると、水晶板 1 3 の外周部分である、円型形状部分の円周部分が、超鋼にて出来ている、第 2 の加工補助具 1 9 により保護されて、研磨加工されるが為に、片面研磨加工機械を使用して研磨加工しても、例えば、ラッピングプレート盤として、錫盤などの金属板に倣うと同時に、超鋼などで出来ている、第 2 の加工補助具 1 9 が錫板の平行度、面積度を、常時、修正しながら研磨加工を行なう効果があるので極限まで、平行度、及び面精度のよい加工を行うことが出来る。例えば、ラッピングプレートとして、錫板を使用して、第 2 の加工補助具 1 9 を、超鋼を使用して製作した、加工補助具 1 9 を使用して、水晶板 1 3 を図 4 5 (d)、又は図 4 6 (d) に示しているように、 $6\mu\text{m}$ 内外を、片面研磨加工機械、又は両面研磨加工機械を使用して研磨加工した場合の、平行度、及び面精度は

、1/100以内の誤差の範囲内にて加工が出来ることが判明した、この加工方法を使用することにより、例えば、2 inch (約 5.8 cm) の基盤の研磨加工を、厚さ 5 μ m の、厚さの加工を行っても、平行度 (傾斜負度) は、5 μ m \times 1/100 \rightarrow 0.05 μ m 以内の誤差の範囲内にて加工することが出来るので、水晶板 13 の電氣的な特性に影響を与えるほどの誤差ではない。さらに、金属などの、鉄、又は超鋼などの金属材料を使用して、水晶板 13 の外周を保護するので、水晶板 13 の周辺部分に亀裂、又は破損が発生しなくなる、加工方法の状態を図示している。

尚、RIE 加工にて、水晶板 13 を 62 μ m 除去すると、第 1 に、0.1 μ m から 6 μ m 内外の凸凹が発生するが、この凸凹を除去するのは、機械的な研磨加工手段を使用して除去するのが最も良いけれども、第 2 の原因にて発生する、イオン粒子が水晶板 13 に激突することで発生する、第 2 の原因にて発生する、加工変質層を除去する手段としては、非晶質の厚さの部分が、せいぜい 0.2 μ m から 1 μ m 内外なので、フッ化水素酸などを使用した化学的な Wet Etching 加工の手段にて、非晶質を除去してもよいが、機械的な、研磨加工の手段にて除去するほうが良い。

【0053】

上記の研磨加工に関しての説明は、片面研磨加工機械を使用しての説明を行ったけれども、両面研磨加工機械を使用して研磨加工する場合には、図 44、図 45 及び図 46 に示しているように、水晶板 13 を上のラッピングプレート 18 (図 16 (B) 参照) を使用して研磨加工し、第 1 の加工補助具 11 及び 11' の下の面を下のラッピングプレート 17 を使用して、上下方向の両面から研磨加工を行うので、水晶板 13 を、第 1 の加工補助具 11 及び 11' に固定する手段としては、接着剤を使用することなく、ただ、第 1 の加工補助具 11 及び 11' の上に置くだけで、第 1 の加工補助具 11 及び 11' を形成している、第 2 の加工補助具 19 を使用して、水晶板 13 の外周を保護して、水晶板 13 を、第 1 の加工補助具 11 及び 11' の上面に置くだけで、固定して研磨加工を行うことが出来る。

尚、この両面研磨加工機械を使用しての研磨加工を行うときに使用する、加工

補助具 11 及び 11" には、真空吸着を使用することが出来ないので、第 1 の加工補助具 11 及び 11" に形成している孔 16 は必要ないことになる。

【0054】

さらに、両面研磨加工機械を使用して、研磨加工する場合のラッピングプレート 17 及び 18 の材質は、鉄などの金属で出来ている、第 1 の加工補助具 11 及び 11" を研磨加工する、ラッピングプレート 17 は、第 1 の加工補助具 11 及び 11" と同じ材質の、鉄などの金属を使用して製作し、水晶板 13 を研磨加工するラッピングプレート 18 は、スウェード 15 (パッド) などを貼ったラッピングプレート 18 を使用して、研磨加工を行うと、図 45 に示しているように、超鋼などの金属で出来ている、第 2 の加工補助具 19 は研磨加工されることなく、例えば、水晶板 13 だけが $6\mu\text{m}$ 前後、第 2 の加工補助具 19 よりも、深く、研磨加工されるので、研磨加工の途中の水晶板 13 が、第 1 の加工補助具 11 より、飛び出すことがなくなる。図 45 と図 46 に示している、水晶板 13 の相違点は、図 45 及び図 46 に示している、水晶板 13 の研磨加工を行う、ラッピングプレート 18 は、両方共に、パッド、又はスウェード 15 を貼っているラッピングプレート 18 を使用しているけれども、図 45 に示している、第 1 の加工補助具 11 を形成している、第 2 の加工補助具 19 の材質が、超鋼などの金属であるのに対して、図 46 に示している、第 1 の加工補助具 11" を形成している、第 2 の加工補助具 19 の材質は、石英などを素材とした、硬質ガラスを使用していることによる相違により、第 1 の加工補助具 11 及び 11" を形成している、第 2 の加工補助具 19 の、高さ方向が異なる、図 45 に示している、第 2 の加工補助具 19 は、全く研磨加工されないのに対して、図 46 に示している、第 2 の加工補助具 19 は、水晶板 13 の高さと同じ高さに研磨加工されている。ただし、研磨剤 65 として酸化セリウムを使用することとする。その理由は、水晶板 13 の材質と、第 2 の加工補助具 19 の材質が同じ石英で出来ているからである。

【0055】

図 45 及び図 46 に示している加工手段を使用して、現在、両面研磨加工機械 (ラップ盤ともいう) を使用して製作することが出来ない、厚さである $27\mu\text{m}$ (現在、製造することが出来る厚さの限界は $24\mu\text{m}$ から $27\mu\text{m}$ とされている

けれども、 $29\mu\text{m}$ 位が限界である)以下の、薄い水晶板13を製作する場合、第1の加工手段として、図45(b)及び図46(b)に示しているように、RIE加工を使用して、図45(a)及び図46(a)に示しているように、 $80\mu\text{m}$ の厚さに、機械研磨加工された、基盤の厚さの水晶板13の厚さを、 $62\mu\text{m}$ 除去して、水晶板13の厚さを $18\mu\text{m}$ の厚さにした後、第2の加工手段として、RIE加工にて発生した、加工変質層、例えば、RIE加工にて $62\mu\text{m}$ 除去した場合には、約 $0.2\mu\text{m}$ から $6\mu\text{m}$ の加工変質層が発生する、この約 $0.2\mu\text{m}$ から $6\mu\text{m}$ の加工変質層を、ラップ盤、又は片面研磨加工機械、又はその他の機械研磨加工などの加工手段を使用して、機械研磨加工にて除去するか、又は化学的なWet Etchingの手段を使用して除去すると、水晶板13の電気的な特性が改善される。

【0056】

Reactive Ion Etching (RIE)加工とは、真空中、又はほぼ真空中において、イオン粒子を、数 10km から数 100km の速さに加速して、イオン粒子が水晶板13などの圧電素材、又はその他の電子材料に激突することで発生する、運動エネルギーを使用して、水晶板13などの表面を、極く少量ずつ削り取る加工手段なので、イオン粒子が激突する水晶板13などの表面上においては、イオン粒子が激突した瞬間には、水晶板13の表面上では、温度の上昇が起こり、その高温の影響により、水晶板13の表面上では、水晶板13が、極く少量ずつ溶解して、水晶板13の表面上では、キュリー温度(495°C 位)以上の温度上昇が起こり、水晶板13の表面上では、ガス化して気化し、吹き飛んでいる現象が起こっている。

上記のことから、水晶板13などの結晶性、又は結晶方向のある材質の場合、イオン粒子が激突した表面上では、極く薄い非晶質、すなわちアモルファスとなって石英、又はシリコンの多結晶、又は使用したガスとの化合物である、例えば、フッ素、又はアルゴンガス、又は塩素系ガスとの化合物、又はその他の酸化物(結晶ではなくなる)の膜、又は水晶板13の表面上に酸化膜(例えば、RIE加工にて $10\mu\text{m}$ 削除した場合、 $1/10$ から $1/100$ ($0.1\mu\text{m}$ から $1.0\mu\text{m}$ 位の膜と考えるとよい)が形成されるが為に、圧電素材である、水晶

板 13 などの電氣的な特性が、極端に低下するので、R I E 加工を行なって加工を行なった後、その後の加工手段として、機械的な研磨加工、又は化学的な W e t E t c h i n g 加工の手段を行わないと、電氣的な特性が良い、圧電素材及び電子材料を加工することは出来ない。

けども、図 4 5 (e) 及び図 4 6 (e) に示しているように、両面から、1 . 0 μ m ずつ位ずつ、R I E 加工を使用して削り取るのであれば、許容される範囲内であるけれども、仕上げ工程としてはなるべく、R I E 加工は使用せずに w e t エッチングの加工手段を使用するほうがよい。

尚、R I E 加工の利点は、図 4 5 (b) 及び図 4 6 (b) に示しているような、62 μ m 荒加工する手段と、0 . 1 μ m から 1 μ m 内外を削り取る微調節用の加工手段として使用するか、又は、図 4 5 (d) 及び図 4 6 (d) に示している、加工補助具 11 及び 11" と、R I E 加工手段を組み合わせ、電氣的な特性が良い、機械的な研磨加工手段の利点と、欠点のある R I E 加工の加工手段と、化学的な W e t E t c h i n g の加工手段を交互に併用することで、機械的な研磨加工では出来なかった、図 4 5 (e) 及び図 4 6 (e) に示している段階にて、化学的な W e t E t c h i n g を使用して、斜線の部分を、最終的に除去して出来た、水晶板 13 の厚さが、10 μ m 内外の 1 i n c h \times 1 i n c h、又は 2 i n c h \times 2 i n c h の丸形状、又は角形状の、水晶板 13 の基盤を多量に安く量産することが出来ることが、R I E 加工と、加工補助具 11 及び 11" を併用しての、研磨加工を行なうことによる利点である。

上記の加工を可能としているのは、図 4 5 (b) 及び図 4 6 (b) に示しているように、第 1 の加工手段として、R I E 加工にて、水晶板 13 の、厚さが 80 μ m の基盤を、基盤に歪を一切、発生させることなく、62 μ m 削り取って、荒加工ではあるが、厚さが、18 μ m の厚さの、水晶板 13 を製作することが出来ることと、第 2 の加工手段として、図 4 5 (d) 及び図 4 6 (d) に示している、加工補助具 11 及び 11" を使用して、R I E 加工にて発生した、R I E 加工の欠点である、加工変質層（例えば、62 μ m 削り取った場合、約 0 . 2 μ m から 6 μ m）を、（ただし、R I E 加工にては、歪は、ほとんど、発生しない）機械的な研磨加工手段にて、研磨加工を行なって除去することにより、電氣的な特

性を改善して、電氣的な特性が良好な水晶板 13 を製作することが出来る。

さらに、電氣的な特性が良好な、水晶板 13 の基盤が出来れば、図 51、図 52、図 53 及び図 54 に示している凹レンズ形状、又は Plano-Convex 型形状、Concavo-Convex 型形状、又は Bi-Convex 型形状、又はその他の形状の、水晶板 13 の精度の高い製作にも利用することが出来る。

【0057】

図 44、図 45 及び図 46 に示している、第 1 の加工補助具 11 を使用して、平板形状、又は凹レンズ形状を形成した水晶板 13 の、平板形状、又は凹レンズ形状を形成した面を保持して、平板形状、又は凹レンズ形状を形成した、水晶板 13 の裏面と、第 1 の加工補助具 11 の一面を、両面研磨加工機械を使用して、上と下の、両面から、同時に研磨加工すると、平板形状、又は凹レンズ形状を形成した、水晶板 13 の一面は、一切、研磨加工することがなく、平板形状、又は凹レンズ形状を形成した、裏面だけを研磨加工することが出来るので、下記のような利点がある。

① 両面研磨加工機械を使用して、極く薄く、平板形状、又は凹レンズ形状を形成した、水晶板 13 の研磨加工を行うことが出来る。

② 両面研磨加工機械を使用して、研磨加工しても、第 1 の加工補助具 11 を使用することで水晶板 13 に、平板形状、又は凹レンズ形状を形成した一面は、一切、研磨加工することなく、平板形状、又は凹レンズ形状を形成した裏面だけを、研磨加工することが出来るので、平板形状、又は凹レンズ形状部分の、加工寸法精度が変化しない。

③ 第 1 の加工補助具 11 を使用することで、両面研磨加工機械を使用して、片面研磨加工が出来るので、荒加工である、ラップ加工から、ポリッシング加工である、研磨加工をしても、平板形状、又は凹レンズ形状部分の、加工寸法の精度が変化することがない。

④ 第 1 の加工補助具 11 を使用することで、片面研磨加工でありながら、両面研磨加工機械の利点である、平行精度、平面精度を出すことが出来る。

⑤ 第 1 の加工補助具 11 を使用することで、RIE加工、又は化学的な、エ

ッティング加工の利点と、片面研磨加工機械の利点と、両面研磨加工機械の利点の、両方の利点を利用することが出来る。

⑥ 第 1 の第 1 の加工補助具 1 1 を使用して、片面研磨加工を行うことで、片面研磨加工機械の欠点がなくなる。

【0 0 5 8】

図 4 7 に示しているのは、水晶板 1 3 の両側から、R I E 加工、プラズマ、又はその他の化学的な、W e t エッチング加工を行って製作した、両面が凹レンズ形状をした、水晶板 1 3 を、図 1 3 に示している、第 1 の加工補助具 1 1 を使用することなく、両面研磨加工機械を使用して、図 2 0 に示している、キャリア 3 7 を使用して、直接に、遊星運動をさせて、化学的な、W e t エッチング加工などによる、加工変質層（フッ素化合物層、又は酸化膜）を、機械加工で除去することにより、水晶板 1 3 の、電氣的な、特性を向上させている状態を示している。

尚、図 4 7 (c) に示しているのは、出来上がりの寸法図の一例である。又、両面を凹レンズ形状に形成した水晶板 1 3 を、パッド、又はスウェード 1 5 を貼った、ラッピングプレート 1 7 及びラッピングプレート 1 8 を使用して、上下の方向から、研磨圧力をかけて、両面が凹レンズ形状をした水晶板 1 3 を、両面研磨加工機械を使用して研磨加工すると、図 4 7 (a) に示している形状の、水晶板 1 3 の形状を、図 4 7 (c) に示している形状の、水晶板 1 3 の形状に研磨加工を行なうことが出来ることも判明した。

【0 0 5 9】

図 4 8 に示しているのは、実際に、水晶板 1 3 を製作する場合、2 . 0 インチウエハーの、水晶板 1 3 の表面上に、マスキングしてマスクを形成し、化学的な W e t エッチングを使用して、数百個から、数千個の、平板形状、又は片面が凹レンズ形状、又は両面が凹レンズ形状の水晶板 1 3 を形成し、その後、水晶板 1 3 を切断して、水晶板 1 3 を、四角形状のままの状態にて使用するか、又は丸の形状に、水晶板 1 3 を、切断加工して使用する状態を示している。

尚、図 4 8 (a) 及び (b) に示しているのは、丸の形状であるが、実際上は 4 角の形状にて使用する場合もある。

【0060】

図44、図45及び図46にて説明している加工手段は、一個ずつの加工方法に関する説明を行っているけれども、実際には、図48に示しているように、2.0インチウエハーの表面上に、レジストを塗布してマスキングして、水晶板13にマスクをかけて、その後、化学的なWet Etchingなどのエッチング加工を行なって、一度に、多量のエッチングを行い、多量にエッチングを行なって出来た、片面が凹レンズ形状、又は両面が凹レンズ形状、又は平板形状、又はその他の形状をした、水晶板13を、保持することが出来る、加工補助具11、又は加工補助具11'、又は図49に示している、第3の加工補助具61を使用するか、又はその他の形状をした、加工補助具を使用して、加工するか、又は、第1の加工補助具11、又は、第1の加工補助具11'を使用することなく、直接に、図20に示している、キャリア37を使用して、遊星運動をさせて、両面研磨加工機械を使用して、両面から研磨加工を行なうか、又は片面研磨加工機械を使用して研磨加工を行ったままとするか、又は周波数の微調節を行なう目的にて、再度、化学的なWet Etching加工などのエッチング加工を行った後、水晶板13を、1個ずつ、切断して、製作すると、安いコストにて、精度の高い、水晶板13を、短時間に、多量に、製作することが出来る。

【0061】

図48(a)、(b)、(c)及び(d)に示している、水晶板13を、1個ずつ、又は数100個、又は数1,000個の凹レンズ形状を形成している2インチの基盤(wafer)を研磨加工するときには、図49(a)及び(d)に示しているような、第3の加工補助具61を、プラスチック、超鋼、鉄、又はその他の金属、又はその他の素材を使用して、第3の加工補助具61を製作して、第3の加工補助具61の空間部分62に、水晶板13を、図49(c)及び(e)に示しているように、空間部分62に、水晶板13を挿入した後、図20に示している、キャリア37を、直接に使用して、水晶板13を、遊星運動をさせて、両面研磨加工を行う加工工程としてもよい。

尚、図49に示しているのは1個ずつの、水晶板13の研削加工と研磨加工を併用した加工手段についての説明をしているけれども、凹レンズ形状を、数10

個から数100個、又は数1,000個形成している、水晶板13の研削加工も、研磨加工も、図49に示している場合の、水晶板13の研削加工と研磨加工を併用した加工手段と全く同じである。

図49に示している、水晶板13の研磨加工の条件は、凹レンズ形状を形成している裏面の研磨加工には、パッド、又はスウェード15を貼っているラッピングプレート18を使用して研磨加工を行ない、凹レンズ形状を形成している表面の研磨加工は、鉄、又は錫板などの金属板のラッピングプレート17を使用して、研磨剤65としては、極く小さい、ダイヤモンド、GC、又は酸化セリウムなどの研磨剤65を使用して研磨加工を行なうと、水晶板13を、第3の加工補助具61の空間部分62に挿入（詰め込む）することで、水晶板13と、第3の加工補助具61が一体となって合体する、合体した水晶板13と、第3の加工補助具61を、図20に示しているキャリア37を使用して、水晶板13と合体している、第3の加工補助具61を、遊星運動させることで水晶板13の外周に位置している、超鋼などの金属で出来ている、第3の加工補助具61が、常時、水晶板13と遊星運動することにより、鉄、又は錫板などの金属で出来ている、下部のラッピングプレート17の平行度、面精度を常時、修正して高めているので、水晶板13の出来あがりの精度が、極限まで高い、精度の水晶板13の研磨加工が出来る効果が、超鋼などで出来ている、第3の加工補助具61を使用することにより生まれる。

又、研磨剤65として酸化セリウムを使用した場合、下部のラッピングプレート17の材質を、鉄、錫板などの金属で出来ている、ラッピングプレート17を使用することで、ほとんど研磨加工が出来ない条件として、上部のラッピングプレート18はパッド、又はスウェード15を貼った、ラッピングプレート18を使用することで、水晶板13と相性が良い酸化セリウムを使用して、上下のラッピングプレート17及び18を使用して研磨加工を行なうと、9/10以上の厚さが、パッド、又はスウェード15を貼っている上部のラッピングプレート18の面だけが研磨加工されることになるので、図49（b）にて示しているように、凹レンズ形状をしている水晶板13の、凹レンズ形状の裏面（フラット面）だけが研磨加工されるが為に、水晶板13の振動部分だけが、段階的に、極く薄く



研磨加工されることになる。

さらに、第 3 の加工補助具 6 1 の高さ、凹レンズ形状をした水晶板 1 3 の高さが同じでも、ウレタン、又は不織布などで出来ている。パッド、又はスウェード 1 5 を貼ったラッピングプレート 1 8 を使用して研磨加工を行なうと、第 3 の加工補助具 6 1 は超鋼で出来ているので、全く研磨加工されなくても、第 3 の加工補助具 6 1 の内部に挿入している水晶板 1 3 は、深さとして、 $15\mu\text{m}$ 前後の厚さまでの深さまでは研磨加工される、例えば、凹レンズ形状の水晶板 1 3 の厚さが、当初 $80\mu\text{m}$ の厚さであれば、 $80\mu\text{m} - 15\mu\text{m} = 65\mu\text{m}$ 位の厚さまでは、第 3 の加工補助具 6 1 と水晶板 1 3 の高さが同じでも、水晶板 1 3 だけを厚さが $65\mu\text{m}$ 位までの厚さに研磨加工を行なうことが出来ることになる状態を示している。

【0062】

図 4 9 (c) に示している、水晶板 1 3 の形状が、四角の形状で、この四角形状の、水晶板 1 3 を挿入している、第 3 の加工補助具 6 1 も、四角形状の空間部分 6 2 を形成している、第 3 の加工補助具 6 1 を使用して、研磨加工を行うほうが、図 4 9 (e) に示している、丸い形状の空間部分 6 2 を形成している、第 3 の加工補助具 6 1 よりも、四角形状の、第 3 の加工補助具 6 1 を使用して、キャリア 3 7 を、直接に、使用して、遊星運動させたほうが、より効果的に研磨加工することが出来る場合もある。

【0063】

図 5 0 に示しているのは、水晶板 1 3 の真上に、例えば、 0.5mm の穴を形成した水晶板 1 3 で出来ているマスク板 6 3、又は石英又はタングステンシーサイド又はその他の材質にて出来ている、マスク板 6 3 に、超音波加工機械などを使用して、 0.5mm の穴を形成したマスク板 6 3 を、水晶板 1 3 の真上に置いて、水晶板 1 3 の上方向から、RIE (Reactive Ion Etching) 加工を行い、深さが $15\mu\text{m}$ の凹レンズ形状を、水晶板 1 3 に形成している状態を示している。

何故、マスキング (金属被膜) の変わりに、マスク板 6 3 をマスキングの変わりに使用して、水晶板 1 3 に、 $15\mu\text{m}$ から $25\mu\text{m}$ 以上の凹レンズ形状を形成

するかというと、水晶板 1 3 に、 $15\mu\text{m}$ から $25\mu\text{m}$ 以上の、凹レンズ形状を形成する場合、露光手段を使用したマスクングでは、金属被膜の厚さが、せいぜい、 $1\mu\text{m}$ 前後の為に、水晶板 1 3 に $15\mu\text{m}$ 内外の凹レンズ形状を形成する段階でも、マスクングの金属被膜の厚さが、全くなり、0 となるが為に役にたかないので、マスク板 6 3 に穴、例えば、 0.5mm の穴を形成した、マスク板 6 3 を使用して、水晶板 1 3 にマスクをかけて、RIE 加工を行う以外に、RIE 加工を使用して、水晶板 1 3 に、深さが $15\mu\text{m}$ 以上の凹レンズ形状を形成することは不可能である。又、マスク板 6 3 の素材としては、水晶、又は水晶と、同じ素材である石英で出来ている、石英などが、水晶板 1 3 を RIE 加工する場合の、マスク板 6 3 として適当な素材である。何故ならば、水晶、又は石英以外の素材を使用して、マスク板 6 3 を製作すると、水晶板 1 3 の表面上に、RIE 加工にて使用するフッ素ガスにより分解されて、プラズマ状態となった、他の物質が、水晶板 1 3 の表面上に付着して、水晶板 1 3 の表面上に、凸凹が出来る現象が発生するが為に、水晶板 1 3 の、精度の高い加工が不可能となるので、マスク板 6 3 として、水晶、又は石英を使用して、水晶板 1 3 の、マスク板 6 3 として使用している状態を示している。悪い例として、例えば、パイレックスで出来ている板などを、マスク板 6 3 として使用すると、パイレックスに含まれている、アルミニウムなどの物質が、フッ素ガスにて分解されて、アルミナなどが出来て、水晶板 1 3 の表面上に付着して化合するような、現象が起こるので、パイレックスなどは、使用することが出来ない。

尚、上記の手段以外に、ドライフィルム（デュポン MRC ドライフィルム社の商品）を使用して、水晶板 1 3 の表面上に、レジストを貼りつける方法でも、容易にマスクングすることは可能である、又、その他の手段としては、直接に、水晶板 1 3 の表面上に、レジストを塗布する方法でもマスクングすることは可能である。

【 0 0 6 4 】

図 5 1 及び図 5 2 に示しているのは、水晶板 1 3 を、両面が凹レンズ形状、又は両面が凸レンズ形状に、RIE 加工、プラズマエッチング、又はその他の、化学的なエッチング手段、を使用して、水晶板 1 3 を凹レンズ形状に加工した後、

その後の加工手段として、機械的な研磨加工である、両面研磨加工機械、又は片面研磨加工機械、又はその他の研磨加工手段を使用して、凹レンズ形状に、化学的なWetエッチング手段を使用して形成した加工面の、加工変質層を、機械的な研磨加工手段にて除去して、両面の平行精度及び面精度を出したままとするか、再度、RIE加工、プラズマエッチングなどの、化学的なWetエッチング手段を使用して、エッチング加工すると、エッチングの欠点である、極く小さい、数 μm の、凸凹が発生する、この凸凹を、さらに、再度、機械的な、研磨加工にて除去することと、凹レンズ形状を形成している、水晶板13の裏面を、エッチング加工と、機械的な研磨加工を併用することで、容易に、極限まで、水晶板13を、極く、薄く加工することが出来る状態を示している。尚、図中、斜線の部分は、エッチング加工と、両面研磨加工機械、又は片面研磨加工機械を併用して、削り落としている部分を図示している。

上記のことを要約すると、水晶板13を、RIE加工、又はその他の化学的なWetエッチング手段、又は機械的な研削手段を使用して、凹レンズ形状、又は凸レンズ形状に加工した後、機械的な、研磨加工を行なうことにより、RIE加工、又は化学的なエッチング手段にて出来た、微小な凸凹を、除去して、平行精度及び面精度を向上させることが出来る。RIE加工、又は化学的なWetエッチング加工と、機械的な、研磨加工と、エッチング加工を併用して水晶板13を、極限まで、薄くしても、面精度を低下させることがなく、水晶板13を、極限まで薄くしても、水晶板13が、過度のエッチングにより、不純物が原因となって穴があいたり、破損することがない。

尚、図51及び図52に示している、片面又は両面が凹レンズ形状の、水晶板13の加工手段としては、下記のような加工手段としてもよい。

水晶板13を、片面又は両面から、ウェットエッチングである、化学的なWetエッチング手段、又は機械的な研削、又は研磨加工手段を使用して、水晶板13を凹レンズ形状に加工した後、片面又は両面から、図中、斜線にて示している部分を、Reactive Ion Etching (RIE) 加工を行って、両側から、相似形状、又は相対的に縮小した後、RIE加工によって発生した加工変質層を除去するために、機械的な研磨加工を行なって、化学的なWet E

tching、又はRIE加工によって発生した加工変質層を除去することにより、電氣的な特性が良好で、しかも、水晶板13の厚さを、 $1\mu\text{m}$ 以下の薄さに加工することが出来る。

【0065】

さらに、図52(a)に示しているような形状に、図1に示している、研削加工手段を使用して加工した後、例えば、図52(b)、(c)、(d)及び(e)に示しているように、両面から、RIE加工の加工手段を使用して、図中、斜線にて示している部分を、RIE加工にて除去することにより、図52(a)に示している形状と、全く同じ形状の相似形状に、両側面からだけ、縮小して、極く薄くて、精度の高い、Bi-Convex型形状に、図52(a)に示している寸法の形状である、保持部分51の厚さが $74.5\mu\text{m}$ で、溝52の部分の厚さが $24.5\mu\text{m}$ で、振動部分の一番厚いところの厚さが $26.5\mu\text{m}$ の形状を、図52(f)に示しているように、保持部分51の厚さが $50.5\mu\text{m}$ で、溝52の部分の厚さが $0.5\mu\text{m}$ で、振動部分の一番厚いところの厚さが $1.5\mu\text{m}$ の形状に、相似形状に縮小することが出来る状態を示している。

尚、その後の加工手段として、RIE加工によって発生した加工変質層を、機械的な研磨加工を使用して除去する必要性はある。

【0066】

図53及び図54に示しているのは、第1の加工手段として、図53(a)、又は図54(a)に示している水晶板13に、マスキングして金属被膜を形成して、水晶板13の中心部分に、直径が 0.5mm の、凹レンズ形状に、中心部分だけを、RIE加工、又はその他の化学的なWetエッチング手段を使用して形成した後、第2の加工手段として、図1(a)に示している、機械研磨加工手段を、仕上げの第2の加工手段とするならば、第2の加工手段である、研削手段にて研削を行う取りしろが少なくすむので、短い時間で、片面が凸レンズ型形状、又は両面が凸レンズ型形状で、しかも、図中に示しているように、保持部分51とスムーズライン53を形成している、両面が凸レンズ型形状、又は一面が凹面で、他の一面が凸面の、凹凸レンズ型形状を製作することが出来る状態を示している。

さらに、図54(c)に示している、Bi-Convex型形状に、研削加工と、研磨加工を併用して加工した後、図54(c)に示しているBi-Convex型形状の両側面から、各々、 $9.25\mu\text{m}$ ずつRIE加工にて、両側面からエッチング加工にて、相似形状に縮小すると、図54(d)の形状、又は図54(d')の形状の、極く薄くて、高精度のBi-Convex型形状の水晶共振子を容易に製作することが出来る。

さらに、RIE加工にて、Bi-Convex型形状を、相似形状に縮小した後の、Bi-Convex型形状を両面研磨加工機械などの、機械的な研磨加工手段を使用して、Bi-Convex型形状両側面から、研磨加工を行なうか、又は化学的なWet Etchingなどの加工手段にて、RIE加工による加工変質層を除去すると、電気特性がよい水晶振動子が出る。

尚、図53及び図54に示している加工手段の説明は、直径が2.0mmの水晶板13についての説明を行ったけれども、実際の加工は、直径が1" inch \times 1" inch、又は2" inch \times 2" inchの角形状、又は丸形状の水晶板13を使用して、一度に多量に、製造することになる。

【0067】

図55(a)及び図56(a)に示しているのは、両面研磨加工機械を使用して、厚さが $80\mu\text{m}$ で、直径が1 inchの角型形状の、両面が鏡面状態に研磨加工された水晶板13を示している。

図55(b)及び図56(b)に示しているのは、図55(a)及び図56(a)に示している、厚さが $80\mu\text{m}$ の水晶板13の厚さを、RIE加工の加工手段を使用して、水晶板13の片側面から $68\mu\text{m}$ 削り落として、水晶板13の残りの厚さが $12\mu\text{m}$ 残っている状態を示している。

図55(c)に示しているのは、RIE加工の加工手段を使用して、当初、厚さが $80\mu\text{m}$ あった水晶板13の厚さを、厚さが $12\mu\text{m}$ の厚さに加工した水晶板13を、RIE加工を行なった片側面からだけ、フッ化水素酸、 NH_4HF_2 、又はHFなどを使用した、化学的なWet Etchingを行なって、RIE加工にて発生した加工変質層（非晶質の部分）を、 $1.5\mu\text{m}$ 除去して、厚さが $10.5\mu\text{m}$ で、直径が1 inchの水晶板13を加工している状態を示してい

る。

図 5 6 (c) に示しているのは、R I E 加工の加工手段を使用して、当初、厚さが $80\ \mu\text{m}$ あった水晶板 1 3 の厚さを、 $12\ \mu\text{m}$ の厚さに加工した水晶板 1 3 を、フッ化水素酸、 NH_4HF_2 、又は HF などの溶液中に入れて、R I E 加工を行なった片側面から $1.5\ \mu\text{m}$ と、R I E 加工を行なわない、片側面から $1.5\ \mu\text{m}$ の、両側面からトータルで $3\ \mu\text{m}$ を、化学的な *Wet Etching* を行なって除去することにより、R I E 加工にて発生した加工変質層を、 $1.5\ \mu\text{m}$ 除去することになり、結果として、厚さが $9\ \mu\text{m}$ で、直径が $1\ \text{inch}$ の水晶板 1 3 を加工している、その後、ラップ盤を使用して、機械的な研磨加工を行なう、仕上げ加工、工程を行なっている状態を示している。

【0068】

図 5 5 及び図 5 6 に示しているように、当初、厚さが $80\ \mu\text{m}$ あった水晶板 1 3 の厚さを、R I E 加工の加工手段を使用して $68\ \mu\text{m}$ 削り落として、水晶板 1 3 の厚さを $12\ \mu\text{m}$ とすると、R I E 加工による、フッ素系、又は塩素系の、イオン粒子が水晶板 1 3 に激突するときに発生する高熱にて、水晶板 1 3 の表面上より、 $0.2\ \mu\text{m}$ から $1.0\ \mu\text{m}$ 位までの深さの部分までの厚さの、水晶板 1 3 の表面上の表面層が、キュリー温度以上の、高熱による影響によりダメージ層、加工変質層（非晶質）となって、水晶板 1 3 の、電気的な特性が大幅に低下する、この水晶板 1 3 の、電気的な特性を改善する目的にて、当初、機械研磨加工にて出来ている、厚さが $80\ \mu\text{m}$ の水晶板 1 3 を、図 5 5 に示しているように、R I E 加工を行なって $68\ \mu\text{m}$ 削り落として、厚さを $12\ \mu\text{m}$ とした水晶板 1 3 の、R I E 加工を行なった片側面から、又は図 5 6 に示しているように、R I E 加工を行なった片側面、及び機械研磨加工を行なったままの片側面の両面の全面を、フッ化水素酸などの溶液中に入れて、化学的な *Wet Etching* を行なうか、又は化学的な *Etching* 溶液を霧の状態にして、噴霧することによる、化学的な *Wet Etching* を行なって、R I E 加工にて発生した、加工変質層を厚さとして $1.5\ \mu\text{m}$ 程を、片側又は両側面から除去したあと、ラップ盤を使用して、機械的な研磨加工をすることで、水晶板 1 3 が本来、持っている電気的な特性を取り戻すことが出来ることが判明した。

尚、R I E加工にて発生した加工変質層を除去する手段としては、図 4 5 及び図 4 6 に示しているように、機械的な研磨加工手段を使用して、加工変質層を除去してもよいし、又は小さく裁断、例えば、厚さが $10\ \mu\text{m}$ の場合には、直径が 1.2mm 、又は 2.0mm の丸形状、又は角形状に裁断して、超音波振動を使用した研磨加工、又はバレル研磨加工などを使用してもよい。

【0069】

図 5 7、図 5 8、図 5 9 及び図 6 0 に示しているのは、まず、第 1 に、図 5 7 に示しているのは、直径が 2.89mm の、円型形状で、厚さが $29.5\ \mu\text{m}$ で、両面ともに、両面研磨加工機械を使用して、鏡面状態に研磨加工（ポリシング）した、平板形状の水晶板 1 3 の周波数（ 56.595MHz ）の特性を測定した実測図を示している。

第 2 に、図 5 8 に示しているのは、R I E加工の加工手段を使用して、図 5 7 に示している、水晶板 1 3 の片側面から、 $12.13\ \mu\text{m}$ を除去して、水晶板 1 3 の厚さが、 $17.36\ \mu\text{m}$ となった、水晶板 1 3 の周波数（ 96.1599MHz ）の特性を測定した実測図を示している。

第 3 に、図 5 9 に示しているのは、R I E加工の加工手段を使用して加工した、水晶板 1 3 の表面上に発生した、凹凸及び加工変質層（非晶質の部分）を除去する目的にて、図 5 8 に示している水晶板 1 3 の、R I E加工を行なった片側面からだけ、研磨剤 6 5 として、酸化セリウムを使用して、機械的に研磨加工を行ない、厚さとして、R I E加工の加工手段にて発生した、加工変質層を除去するために、 $0.12\ \mu\text{m}$ を除去して、水晶板 1 3 の厚さが、 $17.24\ \mu\text{m}$ となった後の、水晶板 1 3 の周波数（ 96.8547MHz ）の特性を測定した実測図を示している。

第 4 に、図 6 0 に示しているのは、図 5 9 に示している、水晶板 1 3 の厚さが、 $17.24\ \mu\text{m}$ の、水晶板 1 3 の、加工変質層を、より一段と除去する目的にて、再度、図 5 9 に示している水晶板 1 3 を、研磨剤 6 5 としては、第 3 の場合と同じく、酸化セリウムを使用して、再度、 $4.96\ \mu\text{m}$ の厚さを除去して、水晶板 1 3 の厚さが、 $12.26\ \mu\text{m}$ となった後の、水晶板 1 3 の周波数（ 136.1149MHz ）の特性を測定した実測図である。

【 0 0 7 0 】

上記のことを説明すると、まず、第 1 に、図 5 7 に示している周波数の実測図は、副振動の発生も少なく、平板形状の水晶板 1 3 としては、大変にすばらしい波型の周波数を発振している。

第 2 に、図 5 8 に示しているのは、R I E 加工の加工手段を使用して、図 5 7 に示している、厚さが $29.5\mu\text{m}$ の水晶板 1 3 を、 $12.13\mu\text{m}$ を除去した場合の、水晶板 1 3 の周波数の波型を見ると、副振動が主振動の、すぐ近くに接近しているが為に、水晶振動子としては、全く使用することが出来ない、波型の水晶振動子としての発振状態を示している。

第 3 に、図 5 9 に示しているのは、図 5 8 に示している、R I E 加工の加工手段を使用して、 $12.13\mu\text{m}$ を除去したあとの水晶板 1 3 の、R I E 加工を行なった表面上から、研磨剤 6 5 として、酸化セリウムを使用して、 $0.12\mu\text{m}$ を機械的な研磨加工手段を使用して、水晶板 1 3 の研磨加工を行なった後の、周波数を測定した実測図である、図 5 6 に示している場合の波型とは異なり、図 5 9 に示している波型は、副振動が主振動より離れていることが判る。

第 4 に、図 6 0 に示しているのは、図 5 9 に示している水晶板 1 3 を、再度、研磨剤 6 5 として、酸化セリウムを使用して、R I E 加工を行なった表面上から、厚さとして、 $4.96\mu\text{m}$ を機械的な研磨加工手段を使用して、R I E 加工の加工にて発生した、加工変質層を除去した、水晶板 1 3 の周波数を測定した実測図であるが、図 6 0 に示している周波数の測定図と、図 5 9 に示している周波数の測定図を比較すると、図 5 9 に示している副振動が、図 6 0 に示している、周波数の測定図から消滅していることが判る。上記の結果から、R I E 加工の加工手段を使用して、もともと、良い波型形状の周波数を発振していた、水晶板 1 3 を加工すると、副振動が発生して、水晶振動子としては使用することが出来ない、周波数の波型を発振することが判った、けども、R I E 加工を行なった、水晶板 1 3 の加工面を、再度、機械的な研磨加工を行なうことにより、水晶板 1 3 の電気的な特性を改善することが出来ることが判明した。

【 0 0 7 1 】

上記のことから判断することが出来るのは、両面研磨加工機械を使用して研磨

加工した、図55に示している水晶板13の波型は、すばらしく、良い波型の周波数を、発振している、けれども水晶板13の、周波数を高めるために、水晶板13の厚さを薄くする目的にて、RIE加工の加工手段を使用して、水晶板13を薄くすると、RIE加工による、加工変質層（水晶板13の表面上が、極く一部分非晶質の膜となって、石英、又はシリコンの多結晶、又はシリコンの酸化物、又はその他の酸化物、又はその他の化合物となる）が発生して、振動子としては、全く使用することが出来ない波型の周波数の発振をすることになる。けれども、RIE加工によって発生した、 $0.2\mu\text{m}$ から $1.0\mu\text{m}$ 内外の加工変質層を、再度、機械的な研磨加工の加工手段を使用して、除去することで、再度、すばらしく良い、周波数の波型を発振する水晶振動子となることが判明した。このことにより、RIE加工の加工手段の欠点を補う、機械的な研磨加工手段、又、化学的なWet Etching加工手段を使用しても、RIE加工の加工手段の欠点を補うことは出来るが、化学的なWet Etching加工の加工手段よりは、機械的な研磨加工手段を使用して、加工変質層を除去したほうが、より一段と水晶本来の電氣的な特性は良い。上記のことから、RIE加工を併用する、ポリシング（機械的な研磨加工）→RIE加工→ポリシング、又は化学的なWet Etching加工、又はRIE加工（微調節に使用する）という、加工手段を使用することにより、かぎりなく薄くて、かぎりなく、波型が良くて、かぎりなく、周波数が高い、水晶振動子が、安い価格にて製作することが出来ることになった、この加工技術は簡単な、加工技術であるが故に、地球上における、最後の、産業革命を起こすことになる技術でもある。

尚、水晶板13の表面上に、例えば、 CF_4 又は C_2F_6 などのフッ素系のイオン粒子、又は塩素系のイオン粒子を、超高速にて水晶板13に激突させると、例えば、フッ素イオン粒子、又は炭素粒子イオンが、水晶板13の表面上にて水晶（ SiO_2 ）の O_2 （酸素）と化学反応を起こして、水晶（ SiO_2 ）から酸素（ O_2 ）を、珪素（ Si ）よりも、イオン化傾向が高く、さらに、超高速に加速されて、運動エネルギーを与えられてポテンシャルの高い、フッ素イオン粒子が酸素（ O 又は O_2 ）を奪って、フッ素イオン粒子と酸素（ O 又は O_2 ）が化学反応を起こして、フッ素化合物、又はフッ素酸化物が、水晶板13の表面上に出

来て、水晶板 13 の表面上より、酸素 (O 又は O_2) が飛び出すことにより、水晶板 13 の表面上に、 $0.2 \mu m$ 位から数 μm 位の、極く薄い、使用したガスと SiO_2 の化合物、例えば、フッ素と SiO_2 の化合物、又はシリコンの単結晶、又はシリコンの多結晶 (Si)、又はシリコンの酸化物の膜が出来る、又イオン粒子が水晶板 13 に激突するときの運動エネルギーによって発生する高熱の影響により、水晶板 13 が溶解して石英 (SiO_2) となる場合もある。

又、水晶板 13 の表面上に出来るシリコン (Si) の単結晶、又はシリコンの多結晶の膜、又は石英 (SiO_2)、又はその他の、酸化物の膜 (加工変質層) の厚さは、イオン粒子が、秒速、数 km の場合と、数 $10 km$ の場合と、数 $100 km$ の場合と、数 $1,000 km$ の場合とでは、水晶板 13 の表面上に出来る、加工変質層 (膜) の厚さは異なるけれども、膜の厚さは、だいたい $0.2 \mu m$ 位から $5 \mu m$ 位までである。

【0072】

図 61 及び図 62 に示しているのは、凹レンズ形状に、化学的な *Wet Etching* 加工、又は機械的な加工、又はその他の加工手段にて、凹レンズ形状に加工した、厚さが $80 \mu m$ で、凹レンズ形状の深さが $60 \mu m$ で、直径が $1 inch$ 以上の角形状の水晶板 13 を、同じ厚さの、厚さが $80 \mu m$ で、直径が $1 inch$ 以上の、水晶、又は金属板、又はその他の素材で出来ている、第 4 の加工補助具 66 の上に、松脂などの接着剤 59 を使用して貼り合わせた後、図 16、図 20 及び図 21 に示している、両面研磨加工機械 (ラップ盤) を使用して、上下のラッピングプレート 17 及び 18 を使用して、研磨加工を行なうか、又は図 63 に示しているように、全く同じ形状の、凹レンズ形状に加工した水晶板 13 の、凹レンズ形状を形成した表面と表面を、松脂などの接着剤 59 を使用して貼り合わせた後、凹レンズ形状を形成した水晶板 13 の裏面を、上下のラッピングプレート 17 及び 18 を使用して研磨加工すると、貼り合わせる素材が、同じ水晶なので、熱膨張率が同一なことにより、加工途中において、歪が発生しない。

さらに、凹レンズ形状を形成した水晶板 13 に貼り合わせる素材としては、水晶以外に、水晶の熱膨張率に近い石英ガラスでもよいし、その他の素材でもよい。

尚、図 6 2 及び図 6 3 に示している、黒塗りの部分は、凹レンズ形状を形成している凹レンズ形状の内部に、松脂などの接着剤層 5 9 を注入して、水晶板 1 3 に形成した、凹レンズ形状内部の部分を松脂などを使用して、補強している状態を示しているが、松脂などの接着剤層 5 9 を注入して水晶板 1 3 に形成した、凹レンズ形状内部を補強しなければ、研削、研磨加工が出来ないわけではない、松脂などの接着剤層 5 9 を形成しなくても、十分に加工に耐えられる。

又、水晶板 1 3 に形成している、凹レンズ形状の表面を、水晶板 1 3 などに貼り付けているので、凹レンズ形状内部の方向からの支持が出来ないので、極く小さい研磨圧力でも、図 6 1 (d) に示しているような、P l a n o - C o n v e x 型形状、又は C o n c a v o - C o n v e x 型形状に研磨加工することが出来るが、凹レンズ形状内部から補強することが出来ていないので、すぐに破れる欠点もある。

【0073】

図 6 4 に示しているのは、水晶、硬質ガラス、金属、又はその他の素材で出来ている板形状の、穴 6 4 を形成した、第 4 の加工補助具 6 6 の上に、松脂などの接着剤を使用して貼り合わせた後、凹レンズ形状を形成している水晶板 1 3 の裏面と第 4 の加工補助具 6 6 の一面を、両面研磨加工機械を使用して、上下のラッピングプレート 1 7 及び 1 8 を使用して、研磨加工すると、第 4 の加工補助具 6 6 に形成している穴 6 4 の内部に、酸化セリウムなどの研磨剤 6 5 が穴 6 4 の内部に、上下のラッピングプレート 1 7 及び 1 8 の研磨圧力により、閉じ込められて、上下のラッピングプレート 1 7 及び 1 8 の研磨圧力と、研磨剤 6 5 が穴 6 4 の内部に閉じ込められることによる、穴 6 4 内部の内部圧力は均衡状態となるが為に、水晶板 1 3 の振動部分の厚さを、 $1.0\mu\text{m}$ から $0.1\mu\text{m}$ 以下の、極限まで薄くしても、破損することなく研磨加工を行なうことが出来る。

尚、図 6 4 の図中にて、うすく黒く塗っている部分が、研磨剤 6 5 が閉じ込められて、図 6 4 (b) の上下からの矢印にて示すように研削、又は研磨加工圧力と、凹レンズ形状内部の、内部圧が均衡状態となっている部分であるが、凹レンズ形状を形成していない、裏面からの研磨加工圧力が内部圧力より強くなると、

図 61 (d) に示しているような、P l a n o - C o n v e x 型形状、又は C o n c a v o - C o n v e x 型形状となる。

【0074】

図 64 に示している、水晶板 13 に形成している凹レンズ形状と、ほぼ同じ穴を形成した、第 4 の加工補助具 66 に、凹レンズ形状を形成した水晶板 13 を貼りつけて加工する理由は、水晶板 13 だけで研削、研磨加工を行なうと、水晶板 13 に凹レンズ形状を形成している表面と、裏面とでは上下のラッピングプレート 17 及び 18 の研磨圧力が、全く異なるが為に、条件により異なるが、例えば、図中に示す条件の場合、水晶板 13 の裏面を $1\mu\text{m}$ 削り取るのに対して、凹レンズ形状を形成している表面は、10 倍の $10\mu\text{m}$ 位の割合にて削り取ることになるので、凹レンズ形状を形成している表面に、第 4 の加工補助具 66 を貼り付けて加工しなければ、凹レンズ形状を形成している表面が、全くなくなるので、第 4 の加工補助具 66 を使用して、凹レンズ形状を形成している、水晶板 13 の表面が、研磨加工されないように、保護する必要性がある。

尚、図 71 から図 78 にて説明しているように、振動部分の直径を一定、例えば、 0.5mm とした場合、外径の直径を、大きくすればするほど、凹レンズ形状を形成している表面と裏面の研磨圧力の差は小さくなるので、第 4 の加工補助具 66 を使用して、凹レンズ形状を形成している、水晶板 13 の表面が研磨加工されないように、保護する必要性がなくなる。

【0075】

図 65、図 66、図 67、図 68、図 69 及び図 70 に示しているのは、図 61 に示している水晶板 13 と同じ形状の、厚さが $80\mu\text{m}$ で、凹レンズ形状の深さが $60\mu\text{m}$ で、直径が 2.0mm の角形状の場合と、直径が 1inch の角形状の場合の 2 種類の、凹レンズ形状を形成した水晶板 13 を、水晶、硬質ガラス、金属、又はその他の素材で出来ている、第 1 の加工補助具 11 及び 11' と、第 2 の加工補助具 19 を使用して形成した、第 1 の加工補助具 11 の上に、凹レンズ形状を形成した加工面を、第 1 の加工補助具 11 及び 11' の真上に、そのままの状態にて載置（ただ置くだけ）するか、又、図 66 及び図 68 に示しているように、松脂、又はパラフィン、又は寒天などの A g a r o s e などの接着剤

を使用して、第1の加工補助具11及び11'の真上に、凹レンズ形状を形成した水晶板13を、松脂などの接着剤を使用して貼りつけた後、(図面状においては、上下のラッピングプレート17及び18は省略している)図16に示している、両面研磨加工機械を使用して、上下のラッピングプレート17及び18を使用して、片面は凹レンズ形状を形成している水晶板13の裏面を研磨加工し、もう一方の片面は、第1の加工補助具11及び11'の裏面を研磨加工することで、凹レンズ形状を形成している、水晶板13の裏面だけを研磨加工することが出来るので、水晶板13に形成している、凹レンズ形状の寸法を変化させることなく、極く薄く、小さい口径から、大口径の基盤まで、研磨加工することが出来る。

尚、図66及び図68に示している、黒塗りの部分は、凹レンズ形状を形成している凹レンズ形状の内部に、松脂などの接着剤層59を注入して、水晶板13に形成した、凹レンズ形状内部を補強している状態を示している。

【0076】

図65及び図66に示しているのは、1個ずつの加工についての説明をしているけれども、図67、図68、図69及び図70に示しているのは、直径が1 inchの角形状の基盤の形状を使用した場合の加工についての説明をしている。

尚、1 inchの角形状の基盤を使用した場合には、図中に示している、厚さが61 μ mで、直径が2.0 mmの角形状で、振動部分の厚さが10 μ mから0.5 μ m位の、水晶振動子が、1枚の1 inchの基盤から、約56個の水晶振動子が出来るので、基盤の直径が大きくなればなるほど、1個当りの製造コストは安くなる。

【0077】

図67、図68、図69及び図70が異なる相違点は、第2の加工補助具19の高さと、第2の加工補助具19の材質が超鋼で出来ているのか、又は硬質ガラスなどの材料にて出来ているのか、又は硬質ガラスなどの材料にて出来ているのかの相違点を示している。

図69及び図70に示しているのは、凹レンズ形状を形成した水晶板13の、凹レンズ形状を形成した裏面と、第2の加工補助具19と一緒に研磨加工している

状態を示しているのに対して、図 67 及び図 68 に示しているのは、凹レンズ形状を形成した水晶板 13 の高さよりも、第 2 の加工補助具 19 のほうを低くすることにより、第 2 の加工補助具 19 は研磨加工することなく、凹レンズ形状を形成した水晶板 13 の裏面と、第 1 の加工補助具 11 の裏面を研磨加工している状態を示している。

尚、図 69 に示している、第 2 の加工補助具 19 は、水晶と同じ材質の石英などで出来ている、硬質ガラスを使用して出来ているのに対して、図 70 に示している、第 2 の加工補助具 19 は、超鋼などの金属で出来ていることによる、相違点を示している。超鋼を使用する利点は、水晶板 13 の直径が大口径になっても、研磨加工による、周辺のダレが起こらない。

又、図 67、図 68、図 69 及び図 70 の、図中 (b) に示しているように、RIE 加工にて $18\mu\text{m}$ を除去した後、残りの $1\mu\text{m}$ を、図中 (d) に示しているように、機械的な研磨加工を行なう構成としてもよい。図中 (c) に示しているように、機械的な研磨加工だけで、 $19\mu\text{m}$ の全部を研磨加工してもよいのはもちろんである。

又、図 64 にて説明したと同じように、図 65、図 69 及び図 70 の図中、うすく黒く塗っている部分が、研磨剤 65 が閉じ込められて、上下のラッピングプレート 17 及び 18 の研磨圧力と内部圧力が均衡状態になるように、第 1 の加工補助具 11 及び 11' に穴 64 を形成している、第 1 の加工補助具 11 及び 11' を使用することにより、凹レンズ形状を形成している水晶板 13 の、凹レンズ形状を形成している、凹レンズ形状の内部に研磨剤 65 が閉じ込められることで、研磨圧力と、凹レンズ形状内部の内部圧力が均衡状態となるがために、振動部分を、 $1.0\mu\text{m}$ から $0.1\mu\text{m}$ 以下の、極限まで薄くしても、水晶板 13 が破損しない状態を示している。又、水晶板 13 の出来あがりの形状としては、図 61 (d)、及び図 64 (d) に示しているような、Plano-Convex 型形状、又は Concavo-Convex 型形状となる。

尚、穴 64 を形成した、第 1 の加工補助具 11 及び 11' に、凹レンズ形状を形成した水晶板 13 を固定する手段としては、ただ置くだけでもよいし、松脂などを使用して貼り付けてもよいが、出来るだけ、ただ置くだけにて、研削、研磨

加工するほうがよい。

【0078】

図71、図72、図73、図74、図75、図76、図77及び図78に示しているのは、厚さが $80\mu\text{m}$ で、直径が 2.0mm 、 3.0mm 、 4.0mm 、 5.0mm 、 6.0mm 又は 1inch 以上の角形状で、凹レンズ形状の深さが $60\mu\text{m}$ の水晶板13を、図16、図20及び図21に示している、両面研磨加工機械を使用して、上下のラッピングプレート17及び18を使用して、キャリア37を直接に使用して、荒研削加工から、仕上げの研磨加工を行なっている状態を示している。

図71及び図72に示しているのは、厚さが $80\mu\text{m}$ で、直径が 6.0mm の角形状で、凹レンズ形状の深さが $60\mu\text{m}$ で、振動部分の直径が $0.5\text{mm}\times 0.5\text{mm}$ の角形状か、又は直径が 0.5mm の丸形状の水晶板13を、上下のラッピングプレート17及び18を使用して、荒研削加工から、仕上げの研磨加工を行なうと、上部のラッピングプレート18にて加工する面積が 4mm^2 ($2\text{mm}\times 2\text{mm}\rightarrow 4\text{mm}^2$)であるのに対して、下部のラッピングプレート17にて加工する面積が 3.75mm^2 ($4\text{mm}^2 - 0.25\text{mm}^2 = 3.75\text{mm}^2$)であるので、上下のラッピングプレート17及び18にて、研磨加工を行なう研磨加工の取りしろが、水晶板13に形成している、凹レンズ形状を上に向いている場合と、凹レンズ形状を下に向いている場合とでは、研磨圧力が、少々異なる状態を示している。

尚、上下のラッピングプレート17及び18にての、研磨加工の取りしろを、出来るだけ同じ取りしろにするには、図中にて示しているように、振動部分の面積が、 $0.5\text{mm}\times 0.5\text{mm}$ と一定なので、凹レンズ形状を形成している、水晶板13の直径 2.0mm を、例えば、 3.0mm とか、又は 4.0mm とか、又は 5.0mm 、又は 6.0mm と水晶板13の直径を、大きくすることで、上下のラッピングプレート17及び18に加わる加重を、ほぼ同じような加重とすることが出来る。

例えば、水晶板13の直径を $6.0\text{mm}\times 6.0\text{mm}$ とした場合には、凹レンズ形状を形成した、水晶板13の表面と裏面の面積の割合は、下記のような面積

の割合となる。凹レンズ形状を形成した水晶板 13 の裏面の面積は、 $6.0\text{ mm} \times 6.0\text{ mm} \rightarrow 36\text{ mm}^2$ で、凹レンズ形状を形成した表面の面積は、 $(6.0\text{ mm} \times 6.0\text{ mm}) - (0.5\text{ mm} \times 0.5\text{ mm}) \rightarrow 35.75\text{ mm}^2$ となるので、裏面を 100 とすると、表面は 99.3 となるので、研削、研磨における取りしろに関しては、表面も、裏面も、ほとんど差がなくなる。

【0079】

図 71 と、図 72 の図面が異なる相違点は、図 72 に示しているのは、凹レンズ形状を形成した水晶板 13 の、凹レンズ形状の内部に研磨加工を行なうことで、酸化セリウムなどの研磨剤 65 が水晶板 13 の、凹レンズ形状の内部に、研磨圧力により、閉じ込められて、凹レンズ形状の内部を、自然に補強してくれるが為に水晶板 13 の振動部分が、極く薄くなっても、破損することなく補強した後、研削研磨加工を行なっているところが異なる状態を示している。

【0080】

図 73、図 74、図 75 及び図 76 に示しているのは、図 16、図 20 及び図 21 に示している、両面研磨加工機械を使用して、上下のラッピングプレート 17 及び 18 を使用して、研削研磨加工を行なう場合に、上下のラッピングプレート 17 及び 18 に同じ加重が加わり、上下のラッピングプレート 17 及び 18 にて加工する、取りしろがほぼ同じ、取りしろになるようにするがために、凹レンズ形状を形成した水晶板 13 の、凹レンズ形状を形成した表面が、上部のラッピングプレート 18 と、下部のラッピングプレート 17 に、均等になるように割り振っている状態を示している。

又、ラッピングプレート 17 及び 18 の上に、凹レンズ形状を形成した水晶板 13 の、凹レンズ形状を形成した表面と、凹レンズ形状を形成している裏面を交互に並べることで、上下のラッピングプレート 17 及び 18 に加わる、加重が同一となるがために、凹レンズ形状を形成している表面と、凹レンズ形状を形成している裏面の、取りしろが同一となる状態を示している。

尚、図 74 に示しているのは、図 72 にて説明したように研磨剤 65 が、研磨圧力により、自然に水晶板 13 に形成している凹レンズ形状内部に閉じ込められて、凹レンズ形状内部を補強している状態を示しているのに対して、図 76 に示



しているのは、凹レンズ形状内部に接着剤層 5 9（黒く塗っている部分）を形成して、凹レンズ形状内部を補強している状態を示している。加工手段としては、接着層 5 9 を形成するよりも、研磨剤 6 5 を閉じ込めるほうがよい。

尚、この研磨剤 6 5 が凹レンズ形状内部に閉じ込められて、研磨剤 6 5 の遊離砥粒の、動圧による摩擦抵抗により、凹レンズ形状内部が、段々と、研磨加工される状態は、フロートポリシング加工方法、そのものの加工方法の変形と考えると、よく理解することが出来る。両面研磨加工機械を使用して、容易に、フロートポリシング加工方法を、再現することが出来ることになったことは、大変に効果のある利点である。

【 0 0 8 1 】

図 7 3 及び図 7 4 に示しているように、最初に、水晶板 1 3 に、凹レンズ形状を形成した後、その後の加工手段として、両面研磨加工機械を使用して、上下のラッピングプレート 1 7 及び 1 8 に、同一の加重が加わるように、凹レンズ形状を形成した面と、凹レンズ形状を形成した裏面を、交互に並べて研磨加工すると、凹レンズ形状を形成した水晶板 1 3 だけを加工している条件とはことなり、上下のラッピングプレート 1 7 及び 1 8 に、同一の加重が加わることで、上下のラッピングプレート 1 7 及び 1 8 にて加工した水晶板 1 3 の、振動部分の厚さが均一となり、極く薄くて、精度が高い、振動子を多量に、安いコストにて製造することが出来る。けども、図 7 7 及び図 7 8 に示しているように、凹レンズ形状を形成した水晶板 1 3 を、同じ方向に並べて、研削及び研磨加工を行なっても別に問題は起こらない。

【 0 0 8 2 】

図 7 1、図 7 2、図 7 3 及び図 7 4 に示しているように、水晶板 1 3 に凹レンズ形状を形成している表面と、凹レンズ形状を形成していない裏面の水晶板 1 3 に、上下のラッピングプレート 1 7 及び 1 8 を使用して研磨加工すると、凹レンズ形状を形成していない裏面の、研磨圧力の圧力分布と凹レンズ形状を形成している表面の部分の圧力分布とが、極くわずか、異なるがために、図 7 2 (c) に示しているように、振動部分が凹レンズ形状を形成している表面の方向に、上からの圧力を受けて撓（たわ）む現象が起こる。研磨剤 6 5 が凹レンズ形状を形成

した表面に閉じ込められることで、上下の研磨圧力は、ある程度、均衡状態となるけれども、ある圧力以上の研磨圧力を加えると、図72(c)に示しているような形状の圧力分布の状態にて研磨加工することになるので、研磨加工の圧力を開放すると、図71(e)、図72(g)、図73(d)及び図74(d)に示している

ように、逆に、外側に凸レンズ形状が飛び出すので、図71(a)及び図74(a)に示しているように、水晶板13に、化学的なWet Etching加工、又は機械的な加工手段にて、凹レンズ形状の切り込み部分を平面形状に加工しておけば、水晶板13に、加圧する研磨圧力の強さを弱くすると、図71(e)に示しているように、平板形状とすることが出来る、又水晶板13に、加圧する研磨圧力を強くすることにより、図74(d)に示しているように、形成される形状としてはPlano-Convex形状が形成され、又図72に示しているように、化学的な、Wet Etching加工、又は機械的な加工手段にて、水晶板13の切り込みの部分に、凸レンズ型形状を、最初、形成しておけば、形成される形状としては、Bi-Convex型形状が形成され、又、図73に示しているように、水晶板13の切り込みの部分に、凹レンズ形状を、最初、形成しておけば、形成される形状としては、Concavo-Convex型形状が形成されるがために、図2(a)に示している形状と、全く同じ形状で、しかも極く小さいレンズ(Convex型形状)形状のために、水晶振動子としては、発振周波数の、電気的な特性が理想的に良くて、Qが高い、厚みスベリ振動モードで、波型が良くて、周波数が高い振動子及び共振子を加工することが出来る状態を示している。

尚、上記の加工手段を使用すれば、水晶板13に、化学的な、Wet Etching加工、又は機械的な加工手段を使用して、切り込み部分に、平面型形状、又は凸レンズ型形状、又は凹レンズ型形状を形成しておけば、水晶板13に形成している平面型形状、又は凸レンズ型形状、又は凹レンズ型形状の中心軸と全く同一の中心軸線上のレンズ型形状となり、左右が、完全に対称の、Bi-Convex型形状、又はConcavo-Convex型形状、又はPlano-Convex型形状を形成することが出来る、理由は、水晶板13に形成してい

る凹レンズ形状、又は凸レンズ型形状、又はその他のレンズ型形状の圧力分布と全く同じ、圧力分布にて、凹レンズ形状、又は凸レンズ型形状、又はその他のレンズ型形状が形成されるからである。結果として、全く左右対称のレンズ型形状が出来ることになる。

【0083】

図75に示しているのは、水晶板13の片側面だけに、化学的な、Wet Etching加工の加工手段を使用して、凹レンズ形状（Single Inverted Mesa Type）を形成して、もう一方の片側面は平面形状とした、水晶板13の実物の測定図を示している。

尚、図面としては、図74（d）の形状を参照することとする。

【0084】

図76に示しているのは、図74に示している、水晶板13を、両面研磨加工機械を使用して、機械的な研磨加工手段を使用して研磨加工を行なった、図75に示している、水晶板13の凹レンズ形状を形成した裏面の、加工後の、振動部分の厚さ方向の形状を干渉縞で示している。

図75に示しているように、凹面側は加工されず、加工前の状態である平面を維持しているように、みえるけれども、極く僅かに、化学的に、Wet Etching加工された、凹レンズ形状内部に、遊離砥粒の状態の、研磨剤65が、上下からの研磨圧力である、動圧を受けて、凹レンズ形状内部に研磨剤65が閉じ込められて研磨剤65が流動状態となることにより、フロートポリシング加工方法の原理の応用にて、凹レンズ形状内部が、動圧の影響を受けて、加工変質層（フッ素化合物層）を、例えば、 $0.2\mu\text{m}$ 前後、除去している。

それに対して、その反対側は、図76からわかるように曲面が形成されている。その高低差は約 $5\mu\text{m}$ であり、Inverted mesa typeを研磨加工することにより、Plano-Convex typeに加工できたことになる。これは加工時の圧力により振動部分がたわみ、この形状が形成されたものである。また、そのリアクタンス周波数特性を図78に示すが、図77に示している加工素材である、化学的なWet Etchingだけを使用して形成した、水晶板13のときよりも特性が向上している。これは加工品質に優れる、機

機械的な研磨加工の長所と、化学的な、Wet Etchingにより発生する、加工変質層（フッ素化合物層）を、機械研磨加工により除去したことで、Plano-Convex型形状のレンズ型形状が形成されたことによるものである。周波数から厚さを計算すると、中央部分は約 $2\mu\text{m}$ 、周辺部分は $7\mu\text{m}$ 研磨加工されている。

尚、加工変質層、例えば、 $0.06\mu\text{m}$ 前後を除去するだけでも、電気的特性を改善することが出来る。この場合には、Plano-Convex型形状にはならないで、かぎりなく平板形状に、極く近い凸レンズ形状となる。

上記のことから、水晶板13を、化学的な、Wet Etching加工の加工手段にて、凹レンズ形状などの、レンズ型形状に加工した後、両面研磨加工機械（ラップ盤）を使用しての、上下のラッピングプレート17及び18を使用して研磨加工を行なえば、電気的特性のすぐれた水晶振動子の製作が出来ることが判明した。

尚、フロートポリシング加工方法の原理とは、遊離状態の砥粒である、研磨剤65が、被研磨物である、例えば、水晶板13などの表面上に、研磨圧力を受けて、衝突することにより、被研磨物の表面上を、極く穏やかに研磨加工を行なう方法であるので、水晶板13を、化学的な、Wet Etching加工の加工手段にて形成した、凹レンズ形状内部に、パット、又はスウェード15が接触をしなくても、上下からのラッピングプレート17及び18の研磨圧力である、動圧の作用により、凹レンズ形状内部を遊離砥粒が流動化するがために、凹レンズ形状内部が研磨加工される。

【0085】

図79及び図80に示しているのは、化学的な、Wet Etching加工の加工手段を使用して、両面に凹レンズ形状（Double Inverted Mesa Type）を形成した水晶板13を、図71に示しているように、図16、図20及び図21に示している、両面研磨加工機械を使用して、上下のラッピングプレート17及び18を使用して、研磨加工している状態を示している。

図72にて説明したように、図80に示しているのは、水晶板13に形成して

いる、両面の凹レンズ形状内部に、上下のラッピングプレート 17 及び 18 の研磨圧力により、酸化セリウムなどの研磨剤 65 が閉じ込められて、凹レンズ形状内部に、閉じ込められた研磨剤 65 の遊離砥粒の、摩擦抵抗により、凹レンズ形状内部が、段々と、上と下から研磨加工されている状態を示している。この研磨剤 65 が凹レンズ形状内部に閉じ込められている状態は、フロートポリッシング方法、そのものの加工方法の変形と考えてよい。又、化学的な、Wet Etching 加工にて発生した、約 $0.2\ \mu\text{m}$ から $0.5\ \mu\text{m}$ の加工変質層（フッ素化合物層）を、図 71 にて説明しているように、両面研磨加工機械を使用して除去したために、一段と、電氣的な特性が、すぐれている水晶振動子（水晶共振子）の製作が出来る状態を示している。

【0086】

図 81、図 82 及び図 83 に示しているのは、化学的な Wet Etching 加工の加工手段、又は機械的な加工手段、又はその他の加工手段を使用して、凹レンズ形状を形成した水晶板 13 の、凹レンズ形状を形成した裏面からか、又は凹レンズ形状を形成した表面から RIE 加工、又は化学的な Wet Etching 加工の加工手段を使用して、 $19\ \mu\text{m}$ 除去した後、RIE 加工、又は化学的な Wet Etching 加工を行なうことにより発生した、約 $0.1\ \mu\text{m}$ から $0.5\ \mu\text{m}$ の加工変質層（酸化膜、又は化合物層、又は非晶質層）を、図 71 にて説明しているように、両面研磨加工機械を使用して除去するために、上下のラッピングプレート 17 及び 18 を使用して研磨加工している状態を示している。尚、図 81 及び図 82 に示しているように、水晶板 13 に形成した凹レンズ形状を、上に向けて、凹レンズ形状を形成した表面を、上部のラッピングプレート 18 を使用して、又凹レンズ形状を形成している水晶板 13 の裏面を、下部のラッピングプレート 17 を使用して研磨加工を行なう場合には、研磨加工を行なう、取りしろが $0.5\ \mu\text{m}$ と、極く少ないので、上下のラッピングプレート 17 及び 18 とともに、スウェード 15 を貼ったラッピングプレート 17 及び 18 でもよいが、出来れば、下部のラッピングプレート 17 を、鋳物などで出来ている金属板を使用するか、又は錫、又はプラスチック板、又はセラミックス板などの金属板で出来ているラッピングプレート 17 を使用して、上部のラッピングプレート 1

8は、パッド、又はスウェード15などを貼ったラッピングプレート18を使用して、研磨剤65としては酸化セリウムなどの研磨剤65を使用して研磨加工しても、振動部分の厚さが、 $0.5\mu\text{m}$ と、極く薄いので、破損することなく、研磨加工することが出来るが、上下のラッピングプレート17及び18ともに、パッド、又はスウェード15などを貼ったラッピングプレート17及び18を使用してもよいが、上下のラッピングプレート17及び18ともに、金属板、又はその他の素材で出来ているものでもよい。

又、図83に示しているように、水晶板13に形成した凹レンズ形状の、凹レンズ形状を形成している表面と、裏面を交互に並べた場合には、上下のラッピングプレート17及び18ともに、パッド、又はスウェード15を貼ったラッピングプレート17及び18を使用して研磨加工するとよい。図82、図83に示しているのは、図72にて説明しているように、酸化セリウムなどの研磨剤65が水晶板13に形成している凹レンズ形状の内部に、上下のラッピングプレート17及び18の、上下からの研磨圧力により、研磨剤65が閉じ込められて、極く薄い振動部分、厚さが $0.5\mu\text{m}$ の、凹レンズ形状内部の、内部圧力と研磨圧力の均衡状態が維持されるがために、上下のラッピングプレート17及び18に、パッド、又はスウェード15を貼ったものを使用しても、又はセラミックス板、又はプラスチック板、又はその他の金属板の、ラッピングプレート17及び18を、使用しても、凹レンズ形状を形成した水晶板13を、極限まで、例えば、 $1.0\mu\text{m}$ から $0.1\mu\text{m}$ 以下の厚さにまで、加工しても破損することはない。

尚、上下のラッピングプレート17及び18を使用して研磨加工を行なった場合には、図64、図71、図72、図73及び図74に示しているような、Planar-Convex型形状、又はConcavo-Convex型形状のレンズ形状に加工することが出来るが、図81、図82及び図83に示している場合は、取りしろが $0.5\mu\text{m}$ と小さいので、極く小さい、Planar-Convex型形状、又はConcavo-Convex型形状、又はBi-Convex型形状にしか加工が出来ないが、極く小さくて、極く薄い形状のPlanar-Convex型形状、又はConcavo-Convex型形状、又はBi-Convex型形状の振動子及び共振子を加工することが出来るので、水晶本来の電

気的な特性が良い波形の発振が出来て、周波数の高い振動子と共振子を容易に加工することが出来る。

【0087】

図84に示しているのは、化学的な、Wet Etching加工の加工手段を使用して形成した、Inverted Mesa Type（凹レンズ形状）に加工した水晶板13の、リアクタンス周波数特性の測定図である。使用した水晶板13の素材はATカットなので、図84に示している水晶板13の、振動部分の厚さは、リアクタンス周波数特性から計算すると、リアクタンス周波数特性が91.4MHzなので、水晶板13の振動部分の厚さは、18.271 μ mとなる。

【0088】

図85に示しているのは、図84に示している、化学的な、Wet Etching加工の加工手段を使用して形成した、Inverted Mesa Type（凹レンズ形状）に加工した水晶板13を、両面研磨加工機械（ラップ盤）を使用して、水晶板13の両側面から0.02 μ mの厚さを除去した段階での、リアクタンス周波数特性の測定図である。図85に示している振動部分の厚さは、リアクタンス周波数特性図から計算すると、リアクタンス周波数特性が91.4995なので、水晶板13の振動部分の厚さは、18.25 μ mとなる。

【0089】

図86に示しているのは、図85に示している、Inverted Mesa Typeの水晶板13を再度、両面研磨加工機械を使用して、両側面から、厚さとして、0.217 μ m除去した段階での、リアクタンス周波数特性の測定図である。図86に示している振動部分の厚さは、18.034 μ mとなる。

【0090】

図84、図85及び図86に示している、3つの周波数の測定図を比較すると、図84に示している、化学的な、Wet Etching加工だけの加工手段にて形成した、水晶板13のリアクタンス周波数特性の測定図には、主振動の横に、かなり複雑な副振動が存在しているけれども、図84に示している水晶板13の両側面から、0.02 μ mを、両面研磨加工機械を使用して、機械的な研磨

加工にて除去した、水晶板 13 のリアクタンス周波数特性の測定図を、図 85 に示しているけれども、主振動の横に存在していた、複雑な副振動が、かなり小さくなっているのが判る。図 85 に示している水晶板 13 を、再度、両面研磨加工機械を使用して、機械的な研磨加工にて、両側面から $0.217\ \mu\text{m}$ 除去した、リアクタンス周波数特性の測定図を、図 86 に示しているのであるが、図 85 に示している周波数の測定図よりも、より一段と、主振動の横にあった副振動が小さくなっていることが判る。

【0091】

図 84、図 85 及び図 86 に示している、リアクタンス周波数特性の測定図から判断することが出来るのは、化学的な、Wet Etching 加工の加工手段にて形成しただけの、Single Inverted Mesa Type (片側面が凹レンズ形状)、又は Double Inverted Mesa Type (両側面が凹レンズ形状) の状態では、主振動の横に、かなり複雑な副振動が存在するので、高度な電子器機、又は通信機器用の水晶振動子としては使用することが出来ないが、図 85 及び図 86 に示しているように、両面研磨加工機械を使用しての、機械的な研磨加工にて、水晶板 13 の振動部分の両側面から、 $0.02\ \mu\text{m}$ から $0.237\ \mu\text{m}$ を除去するだけで、主振動の横に存在していた、副振動が、極く小さくなることにより、高度な電子機器、又は通信機器用の、水晶振動子 (水晶共振子) として使用することが出来ることが判明した。

【0092】

図 87 に示しているのは、図 86 に示している、リアクタンス周波数特性図の、振動部分の表面を拡大した形状の測定図を示している。この振動部分の形状測定図から判断することが出来ることは、 $0.8\ \mu\text{m}$ 程の盛り上がりが出来ていることが判る。もともとの形状は、図 74 に示している形状であるので、凹レンズ形状を形成した水晶板 13 を、両面研磨加工機械を使用して、機械的に研磨加工を行なうと、極く僅かに、限り無く、平面形状に近い、凸レンズ形状に、盛り上がる事が判った。水晶板 13 の素材を AT カットとした場合、厚みスベリ振動モードとなるので、限り無く、平面形状に近い、凸レンズ形状に研磨加工が出来るとは、限り無く、高精度で、リアクタンス周波数特性が良い、波型の発振子

(共振子)を製作することが出来ることが証明されたことになる。

【0093】

図88及び図89に示しているのは、水晶板13の、両面を、凹レンズ形状 (Double Inverted Mesa Type) に、化学的な、Wet Etching加工、又はその他のRIEなどの加工手段を使用して、凹レンズ形状を形成した、水晶板13を、両面研磨加工機械を使用して、機械的に研磨加工を行なっている状態を示している。

【0094】

図88及び図89が、図79、図80、図90及び図91に示しているのとの相違点は、図79及び図80に示しているのは、振動部分の位置を、水晶板13の中心部分に形成しているのに対して、図88及び図89に示しているのは、振動部分の位置を、水晶板13の中心部分より、ずらして形成しているのが、異なる相違点である。

【0095】

図88及び図89に示しているように、水晶板13に形成している振動部分を、水晶板13の中心部分より、ずらして形成すると、上下のラッピングプレート17及び18の、それぞれの、研磨圧力が異なる、研磨圧力となるが為に、図88(e)及び図89(e)に示しているように、研磨加工を行なう前の、振動部分の形状が、平面形状であった、振動部分の形状が、研磨加工を行なったあとの振動部分の形状は、レンズ形状となる状態を示している。

尚、図中、うす黒く塗っているところが、研磨剤65が遊離砥粒の状態となって、研磨圧力(動圧)が高くなり、研磨剤65が閉じ込められ、研磨剤65が流動化しているところである。

【0096】

図88、図89、図90及び図91に示しているのは、水晶板13の、両面を、凹レンズ形状に、化学的な、Dry Etching、又は化学的な、Wet Etching加工、又はその他の加工手段を使用して、凹レンズ形状を形成した、水晶板13を、両面研磨加工機械を使用して、機械的に研磨加工を行なうと、通常でも、上下のラッピングプレート17及び18に、かかる加重は、下の

ラッピングプレート 17 に、かかる加重が 55% で、上のラッピングプレート 18 に、かかる加重が 45% となるが為に、55、45 の割合にて、水晶板 13 に加わる加重が異なるので、極く僅かではあるが、図 88 (e)、図 89 (e) 及び図 91 (e) に示しているような、凸レンズ形状又は凹レンズ形状となる状態を示している。

尚、図 88 及び図 89 に示しているように、振動部分を、水晶板 13 の中心部分より、ずらしていると、両側面からの動圧が異なるが為に、図 88 (e) 及び図 89 (e) に示しているような、レンズ形状になりやすい。

【0097】

【発明の効果】

片面 (Single Inverted Mesa Type)、又は両面 (Double Inverted Mesa Type) を、凹レンズ形状に、

RIE 加工、プラズマエッチングなどの Dry Wet Etching 加工、又は 化学的な Wet Etching 加工、又は機械的な加工、又はその他の加工手段を使用して、凹レンズ形状に加工した水晶板を、直接に、キャリアを使用して遊星運動させて、上下 2 枚のラッピングプレートを使用して、凹レンズ形状を形成した表面と、凹レンズ形状を形成している裏面を上下から同時に、両面研磨加工機械を使用して、研削及び研磨加工を行なうと、下記のような利点がある。第 1 点は、凹レンズ形状を形成している深さの寸法だけ、水晶板の厚さが厚くなったことと、同じことになるので、振動部分だけは、極限まで薄く加工することが容易に出来る。第 2 点は、振動部分以外の、外周部分である保持部分は、凹レンズ形状を形成した深さの寸法だけ、厚い形状となることになるので、例えば、振動部分が、 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 位と薄くても、直接に、キャリアを使用して、ラップ盤を使用しての、両面研磨加工が出来ることになる (キャリアの限界は $30\text{ }\mu\text{m}$ 前後)。第 3 点は、凹レンズ形状に加工している水晶板の、凹レンズ形状を加工している表面 (おもてめん) と、凹レンズ形状を加工している裏面を交互に、上下 2 枚のラッピングプレート上に、同じ割合の、加重が、上下 2 枚のラッピングプレート上加わるような、割合にて、凹レンズ形状を形成している水晶板を、表面と、裏面を交互に並べることで、上下のラッピングプレートに加わる加

重は、全く同じ加重となるので、加工したときの取りしろの測定が容易になることと、精度が高い、均一な加工が出来る。

第4点は、上下2枚のラッピングプレートに、同じ割合の加重が加わるように、交互に並べて、加重を調節することで、凹レンズ形状を、形成した水晶板の、凹レンズ形状を形成した表面の、取りしろと、凹レンズ形状を形成した裏面の、取りしろを、同じ寸法とすることが出来るので、外周部分である保持部分（例えば、 $60\mu\text{m}$ 位）の厚さが厚くて、振動部分は、極限まで薄い（例えば、 $0.1\mu\text{m}$ 位までの薄い）、凹レンズ形状を形成した水晶振動子を、安いコストにて、多量に加工することが出来る。

第5点は、凹レンズ形状を形成した、水晶板の凹レンズ形状内部に、研磨剤が研磨圧力の作用により、自然に閉じ込められるが為に、凹レンズ形状内部を補強することになり、極限まで薄い、例えば、 $0.1\mu\text{m}$ 以下（基本波で、 16GHz 以上の発振が出来る）の水晶振動子を、精度よく製作することが出来る。

第6点は、上下2枚のラッピングプレートに、ある一定以上の研磨圧力をかけると、凹レンズ形状を形成している表面の研磨圧力と、凹レンズ形状を形成していない裏面の、研磨圧力に相違が出来るがために、凹レンズ形状を形成している部分と、凹レンズ形状を形成していない外周の保持部分とでは、圧力が異なる圧力分布となるために、容易に、平面研磨加工機械である、両面研磨加工機械を使用して、極く直径が小さくて、かぎりなく薄い、例えば、直径が 0.1mm 以下のレンズ形状である、Plano-Convex型形状、又はConcavo-Convex型形状、又はBi-Convex型形状の加工を行なうことが出来る。Plano-Convex型形状、又はConcavo-Convex型形状、又はBi-Convex型形状などの、レンズ形状の振動子の場合、水晶振動子としては、理想的な厚みスベリ振動モードだけの振動となり、他の輪郭振動を伴わなくなるので、電氣的な特性が良くて、周波数が高い、振動子及び共振子を、安いコストで、多量に加工することが出来る。

第7点は、上下2枚のラッピングプレートを使用して、凹レンズ形状を形成している水晶板を研磨加工する場合、上下2枚のラッピングプレートにかける、研磨圧の圧力を調節することで、レンズ形状（R）の大きさを、自由に調節するこ

とが出来る、又Rを発生させない、フラットの加工も出来る、又はP l a n o - C o n v e x型形状にするか、又はC o n c a v o - C o n v e x型形状、又はB i - C o n v e x型形状に加工するかは、研磨圧を調節することにより、加工形状を変えることが出来る利点もある。

第8点は、両面研磨加工機械を使用して、P l a n o - C o n v e x型形状、又はC o n c a v o - C o n v e x型形状、又はB i - C o n v e x型形状などの、レンズ形状を形成するので、平行精度、及び平面精度が、他の加工手段より、格段に良い、出来あがりの加工を行なうことが出来る。

第9点は、各種の輪郭振動を伴わない、厚みスベリ振動モードの、中心軸が同一軸線上の、左右が、完全に対称形状の、P l a n o - C o n v e x型形状、又はC o n c a v o - C o n v e x型形状、又はB i - C o n v e x型形状の、レンズ形状の振動子を容易に加工することが出来るので、振動子理想に近い、振動子の加工が出来る。

第10点は、水晶本来の電気的な特性を発揮することが出来る、片面が凸レンズ形状で、もう一方の片面が平面形状（P l a n o - C o n v e x型形状）又は、片面が凸レンズ形状で、もう一方の片面が凹レンズ形状（C o n c a v o - C o n v e x型形状）、又は両面凸レンズ形状（B i - C o n v e x型形状）、又はその他のレンズ型形状物体を加工することが、自然界の原理を使用することにより、容易に加工が出来る。

第11点は、水晶には光軸があり、その光軸と加工軸を合致させる必要性がある、B i - C o n v e x型形状、又はC o n c a v o - C o n v e x型形状の場合には、2つの加工軸が発生する、この2つの加工軸と光軸の、計3つの中心軸を、かぎりなく0に合致させなければ、Qがかぎりなく高い水晶振動子を製作することは不可能である。

本考案の加工手段は、水晶板に形成した、凹レンズ形状（逆M E S A）、又は凸レンズ型形状、又はその他のレンズ型形状に加工した形状に、上下のラッピングプレート2枚を使用して、圧力をかけて研磨加工を行なうので、水晶板に形成している、レンズ形状に基づいた、圧力分布と全く同じ圧力分布にて、反対側に、全く同じレンズ形状を形成することが出来るので、上記の条件を満足させる加

工手段となる。

以上、11点の効果が発生する。

尚、凹レンズ形状を形成した水晶板の、表面と裏面を交互に並べなければ、研削、研磨加工が出来ないわけではない、表面どうしてもよいし、裏面どうしてもよい。又、凹レンズ形状を形成した内部に、松脂、Agaroseなどの接着剤を注入することで、凹レンズ形状内部の、強度の補強を行なうことも出来るが、Plano-Convex型形状のレンズ形状の振動子とはならない。又、凹レンズ形状内部に研磨剤を閉じ込めることが出来ない構造、すなわち、凹レンズ形状内部を空（から）にしておくと、上下からの研磨圧力により、振動部分が薄いので、すぐに破損することになる欠点もあるが、加工することが出来ないわけではない。

【0098】

広く普及している両面ラップ盤（両面研磨加工機械）を使用して、High Frequency, Plano-Convex Type Quartz Oscillator の製作を行なうことが出来た。また、Chemical Etching 時に生じると考えられる電気的特性を損なう加工変質層（フッ素化合物層、又は酸化膜）を、Mechanical Polishing で除去すれば、大幅な電気的特性の向上が図られることが判明した。

両面ラップ盤を使用したMechanical Polishing の場合、約60MHz（ATカットの場合、厚さが30 μ m）以上の水晶振動子の製作は出来ない製造の限界があった。しかし、Chemical Etchingされた、Single Inverted Mesa Type、又は Double Inverted Mesa Type のものを加工素材とすれば、フレーム部分（保持部分）が30 μ m（ATカットの場合、約60MHz）になるまで加工を行なうことが出来る。その上、加工時に生じる振動部分の撓（たわむ）みが原因でConvex形状を創成することが出来ることが判明した。

又、0.1 μ m以下の除去量でも、Chemical Etching されている表面を、Mechanical Polishing にて除去すれば、大幅な電気的特性の向上が図られることから、電気的特性を損なう層（加工変質

層)の存在、ならびにChemical Etchingを行なった後の電気的特性を改善する方法が判明したことは、今後の電子機器業界に与える影響は、はかりしれないほど大きい。

【0099】

凹レンズ形状を形成した水晶板の、凹レンズ形状部分の長さを長くするために、水晶、又は金属、又はその他の素材に穴を形成した板状の、第4の加工補助具を、凹レンズ形状を形成した水晶板に、接着剤などを使用して貼り付けるか、又は穴を形成した第1の加工補助具を使用することで、研磨圧力と凹レンズ形状内部に閉じ込められる研磨剤の内部圧力とが、自然界の原理にて、均衡状態となるが為に、水晶板の振動部分を、 $1.0\mu\text{m}$ から $0.1\mu\text{m}$ 以下の極限まで薄く研削、研磨加工しても破損しないことが判明したことは、大変な現象の発見である。

【0100】

平板形状、又は凹レンズ形状に加工している水晶板を、第1の加工補助具と、第2の加工補助具を使用して組み立てた加工補助具を使用して加工するか、又は第3、及び第4の加工補助具を使用して加工するか、又はその他の形状の加工補助具と、両面研磨加工機械を組み合わせ使用し、研削、研磨加工を行なうと、極く薄い、平板形状、又は振動部分が、極く薄い、凹レンズ形状に形成している精度の高い水晶板を、安いコストにて、多量に製作することが出来る。

【0101】

溝を形成している、第1の加工補助具と、円筒形状の形状をした、第2の加工補助具の、上記2つの部品を使用して組み立てた加工補助具であれば、2つの部品ともに、平板形状なので、両面研磨加工機械などを使用した、平面研磨加工の研磨加工手段を使用しての、研磨加工が容易に出来るので、かぎりなく、平行精度が良くて、コストが安い、加工補助具を、簡単に製作することが出来る。

尚、加工補助具は消耗品なので、精度が良くて、コストが安いことは重要なことである。又、第3の加工補助具も、第2の加工補助具と同じ形状なので、上記の理由と同様である。

【0102】



R I E加工の加工手段を使用することなく、水晶板の片側面上に、化学的なW e t E t c h i n g加工の加工手段を使用して、凹レンズ型形状（逆M E S A型形状）を形成した後、第1の加工補助具と、第2の加工補助具を使用して形成した加工補助具を使用するか、又は第3の加工補助具を使用するか、又はその他の形状の加工補助具を使用して、凹レンズ型形状を形成した裏面と、加工補助具の一面の両面を、両面研磨加工機械を使用して研磨加工すると、極限まで薄く、水晶板に形成している振動部分を、研磨加工をすることが出来ることになり、下記のような利点がある。

- ① 水晶板の振動部分を極限まで薄く研磨加工しても、最初に化学的なW e t E t c h i n g加工の加工手段にて、凹レンズ型形状を形成しているので、外周部分が振動部分より厚いので、ハンドリングに困難を伴うことがない、これにより極く薄い振動部分の研磨加工が出来る。
- ② R I E加工の加工手段を使用しなくても、水晶板に歪を発生させることなく、1 i n c hから2 i n c h以上の大口径の水晶板の研磨加工が出来る、歪が発生しにくいのは、加工補助具に載置（ただ置くだけ）して研磨加工が出来るからである。
- ③ R I E加工の加工手段では、イオン粒子が水晶板上に、激突するときには発生する高熱による影響、及びイオン粒子が、水晶板上に激突するときの衝撃による振動で、水晶板上に、極く小さい罅（ヒビ）が発生することにより、水晶板の結晶構造にダメージを与えるが、機械的な研磨加工の加工手段は、水晶板の結晶構造に与えるダメージは、ほとんど発生しない利点がある、又化学的なW e t E t c h i n g加工の加工手段は、R I E加工の加工手段ほど、水晶板の結晶構造に、悪い影響は与えない、けれども、機械的な研磨加工ほど電気的な特性は良くない加工方法である。
- ④ 上記の加工手段は、水晶板を極く薄く、研磨加工することが出来る加工手段なので、加工補助具に載置するだけでなく、加工補助具の表面上に、A g a r o s eなどの寒天、松脂、又はパラフィンなどの接着剤を使用して貼り付けて研磨加工しても、極く薄く（例えば、1 μ m内外の厚さ）研磨加工することが出来るので、振動部分の直径は1 μ mの100倍あれば振動するので、長さ方向の

歪が、少々発生しても、問題とはならない。当然、振動部分が厚いと、長さ方向の直径が大きくなるので、歪の影響も大きくなるので、歪は問題となる。これも振動部分を、極限まで薄くすることが出来る利点でもある。

⑤ Agaroseなどの寒天、松脂、又はパラフィンなどを使用して、凹レンズ型形状を形成した表面を、加工補助具の表面上に貼り付ける場合、1枚の水晶板の表面上に、複数個以上（例えば、数10個から数100個）の、凹レンズ型形状を形成している水晶板を、加工補助具の表面上に貼り付けるのであれば、凹レンズ型形状の内部の空気が、熱（70℃位）の影響により膨張するので、1個ずつ加工補助具に貼り付けるのは、大変に困難である。

⑥ 化学的なWet Etching加工の加工手段と、機械的な研磨加工の加工手段の2つの加工手段だけを使用して、水晶板を研磨加工するのであれば、水晶振動子、又は水晶共振子としての、電気的な特性が良い、周波数の波型を発振する。なるべくRIE加工の加工手段は出来るだけ、使用しないほうがよいけれども、短い時間使用するのであれば、別に問題はないし、又RIE加工の加工手段を荒加工の加工手段と、微調節用の加工手段として使用するのであれば、RIE加工の加工手段は、素晴らしい加工手段である。

⑦ 上記の加工手段は、1 inchから2 inch以上の水晶板（基盤）に対応することが出来るので、1枚の水晶板から、数100個から数1,000個を、1枚の水晶板より製作することが出来る加工技術でもある。

【0103】

圧電素子被研磨物を、化学的な、Wet Etching加工して、Single Inverted Mesa形状（片面が凹レンズ形状）、又はDouble Inverted Mesa形状（両面が凹レンズ形状）の、凹レンズ形状の形状に加工し、その後、両面研磨加工機械、又は片面研磨加工機械、又はその他の、機械的な研磨加工手段を使用して、仕上げの研磨加工することで、エッチング加工で作ることが出来ない、スムーズラインを形成することが出来るので、蒸着による電極の形成が容易となる。さらに、これにより、化学的な、Wet Etching加工、例えば、フッ化水素酸、又は NH_4HF_2 、又は HF などの溶液を使用して、水晶板を加工すると、水晶板の表面上に、例えば、0.0

1 μm から 0.1 μm 位の、極く薄い、フッ素化合物層（加工変質層）が、RIE 加工の加工手段を使用したときと同様に、化学的な、Wet Etching 加工の加工手段を使用しても、水晶板の表面上に加工変質層（フッ素化合物層）が出来ることにより、水晶本来の、電気的な特性を低下させるので、RIE 加工の加工手段の場合と同じく、化学的な、Wet Etching 加工の加工手段を行なったあとも、極く薄い、加工変質層、例えば、0.01 μm から 0.1 μm 位を除去する目的にて、機械的な研磨加工手段を使用して、加工変質層を除去すると、水晶本来の、電気的な、特性が発揮出来て、Q が高い発振子を加工することが出来ることが判明した。又、これにより、平板形状、又は凹レンズ形状、又は凸レンズ型形状、又はその他のレンズ型形状に加工した表面と裏面の両面から、研磨加工することで、極く、薄くて、周波数が高い水晶振動子の加工が出来ることと、副振動が減少する利点がある。

【0104】

圧電材料、特に水晶は硬脆材料であるために、加工方法は、ラッピング加工方法と、RIE 加工によるエッチング、又は化学的な Wet エッチング加工方法、特に、化学的な Wet Etching に、限定され、薄片化に限度があった、そこで、両者の長所を活用して、新しい RIE 加工による、エッチング・ポリッシング、又は化学的な Wet Etching を併用した加工方法、又は RIE 加工を使用した、エッチング・ポリッシング・化学的な Wet エッチング併用の加工方法の、水晶などの圧電素子加工技術を開発することで、厚さが 0.125 μm （固有振動周波数約 12.0 GHz）の超高性能、高周波用振動子の開発を行なうことが出来た。

さらに、RIE 加工による、エッチング・ポリッシング、又は化学的な Wet Etching 加工の併用、又は RIE 加工による、エッチング・ポリッシング・化学的な Wet エッチング加工、又は RIE 加工の併用を繰り返す、加工技術を使用することで、将来、0.06 μm 台（固有振動周波数約 24.0 GHz）の発振素子の開発も可能である。尚、水晶板を、極限まで、薄くして、固有振動周波数を高めると、水晶板の、振動部分の、直径は、振動部分の厚さの、100 倍以上あれば振動するので、固有振動周波数を高めれば、高めるほど、振動部

分の直径は小さくなるので、水晶板の面積は、固有振動周波数に、比例して小さくなる。ということは、振動数を高めれば、高めるほど、水晶板の面積当りのコストは、安いコストにて、製作することが出来ることになる。さらに、振動数を、高めれば高めるほど、高い付加価値の商品となる利点がある。

【0105】

凹レンズ形状、又は凸レンズ形状、又は平板形状に、RIE加工、プラズマエッチング加工、又はイオンミリングなどの、化学的なDry Etching加工、又はWetエッチング加工を行い、凹レンズ型形状、又は平板形状、又はその他の形状を形成した面の裏面の加工を、RIE加工によるエッチング加工、又はその他のエッチング手段にて、凹レンズ型形状、又は平板形状を形成した裏面から、裏面の全面をある一定の厚さに、薄くした後、その後の加工手段として、機械研磨加工を行って、水晶板を加工するのであれば、例えば、水晶板の厚さが、 $75\mu\text{m}$ の水晶板に、深さが $25\mu\text{m}$ の凹レンズ型形状を形成し、振動部分の厚さを $10\mu\text{m}$ 残すと、残りが $40\mu\text{m}$ 残る、この残りの $40\mu\text{m}$ の内、 $35\mu\text{m}$ を、凹レンズ型形状の裏面から、裏面からだけ、RIE加工、又はプラズマエッチング、又は化学的なWetエッチングなどの手段にて、残っている $40\mu\text{m}$ の内の、 $35\mu\text{m}$ を削り取った後、残りの $5\mu\text{m}$ を、機械加工で研磨加工することで、RIE加工、化学的なWet Etching、又はプラズマエッチングなどで加工した後に出来る、数 μm の凸凹（加工変質層）を、機械加工にて、削り落として、加工面を、鏡面に研磨加工することが出来る。上記の加工方法であれば、機械加工を行う部分は、 $5\mu\text{m}$ 前後だけ、研磨加工を行うことになるので、歪が、全く、又はほとんど、発生しない利点がある。さらに、厚さが $75\mu\text{m}$ 以上の場合、例えば、厚さが $100\mu\text{m}$ の場合でも、RIE加工による、エッチングにて削り落とす、取りしろの部分が、厚さが $75\mu\text{m}$ の場合には、 $35\mu\text{m}$ であったのが、厚さが $100\mu\text{m}$ の場合では、 $60\mu\text{m}$ の厚さになるだけなので、RIE加工による、エッチングにて削り落とす、厚さが $35\mu\text{m}$ から $60\mu\text{m}$ になっても、さほどの影響はない。何故ならば、RIE加工による、エッチング加工で出来た数 μm の凸凹を、その後の機械研磨加工にて、鏡面加工を使用して、削り落とすことが、出来るからである。この水晶板の厚さが、 $75\mu\text{m}$ の場

合よりも、厚さが厚い、 $100\mu\text{m}$ 以上の厚さの水晶板のほうが（例えば、直径が2.0inch以上の直径が大きい基盤）加工が、容易に出来る。水晶板の、直径が大きくなれば、なるほど、水晶板の、厚さが、厚くなる。ということは、本考案の利点は、下記の4点に要約することが出来る。

① 大口径2.0インチから3インチ以上の、水晶板の基盤に対応することが出来るので、コストが安くて、しかも付加価値の高い、高い周波数を発振する、発振子が出来る。

② 水晶板の厚さが厚くなっても、全くか、ほとんど、歪を発生させることなく、極く薄く加工する加工方法であるので、大口径2.0インチから3インチ以上薄い水晶板（基盤）を製造することが出来る。

③ RIE加工による、エッチング・ポリシング併用、又はRIE加工を使用した、エッチング・ポリシング・化学的なWetエッチング、又はRIE加工を併用した加工方法なので、極限まで、薄く、加工が出来る。

④ 片面（Single Inverted Mesa Type）、又は両面（Double Inverted Mesa Type）の形状に、精度の高い、凹レンズ形状、又は凸レンズ形状を形成した加工を行うことが出来る、又平板形状の加工も出来る。

⑤ 上記の技術を達成可能とするには、出来上がりの、水晶板の厚さが $50\mu\text{m}$ から $10\mu\text{m}$ 前後の厚さなので、本考案の加工補助具を使用しなくてもよいが、精度が高くて、コストが安い、水晶板を製作しようとするれば、本考案の加工補助具を使用するほうが、容易に、極く薄い、大口径の基盤である、2.0インチから3インチ以上の加工を行なうことが出来る。

【0106】

Plano-Convex型形状の場合も、ある一定の形状の、Plano-Convex型形状を形成しておけば、Plano-Convex型形状を形成している面の、裏面から、RIE加工などのエッチング加工を行ない、エッチング加工と、片面研磨加工機械、又はその他の研磨加工手段を併用して、Plano-Convex型形状の裏面を、加工、及び研磨加工することで、容易に、極く薄い、Plano-Convex型形状を形成することが出来る。

さらに、Bi-Convex型形状の場合も、ある一定形状の、Bi-Convex型形状を形成しておけば、Bi-Convex型形状を形成している面の、両面から、RIE加工、又は化学的な、Wet Etchingの加工手段などのエッチング加工を行うことで、相似形状に、両面から、縮小して、極く薄い、Bi-Convex型形状を形成した後、Bi-Convex型形状の、両側面から、両面研磨加工機械を使用して、機械的に研磨加工を行なって、RIE、又は化学的なWet Etchingなどにて発生した、加工変質層を削り取ることで、電氣的な特性の良い、振動子を作ることが出来る。

【0107】

C_2F_6 などのフッ素系ガス、又は塩素系のガス、又はアルゴンなどのガスを使用して、RIE加工技術にて、水晶板を、凹レンズ形状に加工する場合、レジストを塗布し、マスクングして、厚さが厚い、金属被膜を形成するか、又はその他の材質で出来ている、被膜を形成するか、又は水晶板、又は石英板、又はタングステンシーサイド、又は鉄、又はその他の素材に超音波加工などを使用して、例えば、0.5mm前後の穴を形成した、水晶板、又は石英をマスク板として使用して、水晶に15 μ m以上の凹レンズ形状を形成した後、RIE加工にて発生した加工変質層（非晶質である、石英、又はシリコンの単結晶、又はシリコンの多結晶、又はシリコンの酸化物、又はその他の酸化物に変化した、アモルファス部分）を除去する為の、機械的な研磨加工を行なうことで、RIE加工技術の欠点を補うことが出来ることにより、RIE加工技術を使用しても、水晶の電氣的な特性が、すばらしく良好で、周波数の高い水晶振動子及び水晶共振子の製作が出来ることになった。

尚、現在の技術では、金属被膜のマスクングを使用して、RIE加工を行うと、金属被膜の限界から、深さが、15 μ mの凹レンズ形状を形成することが限界であるけれども、本考案の、水晶板又は石英板又はその他の素材に、例えば、0.5mm前後の、穴を形成した水晶板などをマスク板として使用するならば、深さに限界がなくなり、如何なる深さの凹レンズ形状でも形成することが出来る利点がある。

【0108】

水晶板の表面上にレジストを塗布して被膜を形成する場合、デュボンMRCドライフィルム（株）が発売している、商品名がリストンFRA063-50（レジストの厚さ $50\mu\text{m}$ ）、リストンFRA063-50 \times 2（レジストの厚さ $100\mu\text{m}$ ）、又はリストンFX-150（レジストの厚さ $50\mu\text{m}$ ）のドライフィルムを、水晶板に貼り付けて、水晶板の表面上にレジストすると、簡単に水晶板の表面上にレジストを形成することが出来る、その後、必要である部分、又は不必要な部分を残すために、マスクをかけて、露光装置を使用して露光し、露光したあと必要な部分、又は不必要な部分を炭酸ナトリウム及び水酸化ナトリウムなどの溶液を使用して現像して除去した後、RIE加工の加工手段を使用してエッチング加工した後、再度、仕上げの研磨加工、又は化学的なWet Etchingの加工を行う加工方法ならば、設備投資の資金が、極く、少ない資金にて、多量に、極く薄くて、精度が高い、水晶振動子、及び水晶共振子を製造することが出来る、ことになる利点もある。

【0109】

現在、ATカットの水晶で、直径が1 inch、又は2 inchの場合、水晶板の厚さは、最も薄いもので、 $75\mu\text{m}$ 位が、製造の限界で、この $75\mu\text{m}$ が、最も薄い、厚さのものである、多量生産にて、極く薄い水晶振動子を製作しようとするれば、ATカットの場合、直径が2 インチの基盤を使用することになる。ここで問題が起こる、極く薄くて、精度が高くて、周波数が高い、水晶振動子を製作することと、多量生産にて、水晶振動子を安く製作することとは、相反する関係にある。上記の問題を、解決する手段として、水晶板を、極く薄く加工するのに、本考案の加工補助具を単独にて使用するか、又は水晶板を、極く薄く加工する目的のために、加工補助具とRIE加工を併用して、RIE加工と、機械的な研磨加工を、併用して、RIE加工と、機械的な研磨加工を行うことで、直径が2 インチの場合で、厚さが $75\mu\text{m}$ に、製造の限界がある、基盤の厚さを、 $10\mu\text{m}$ から $20\mu\text{m}$ 以下の厚さで、直径が、2 インチの基盤を作ることが出来ると、その後の加工で、凹レンズ形状を形成する場合に、化学的なWet エッチング、又はRIE加工により、除去する凹レンズ形状を形成するときの深さを、浅くすることが出来ることで、凹レンズ形状に形成する、水晶振動子を形成する振動

部分の面精度が一段と向上する。又、本考案の加工補助具を使用することで、基盤の厚さが、 $10\mu\text{m}$ 程度の、直径が2インチの基盤を作ることが、容易に出来るので、片面又は両面が凹レンズ形状の形状に加工することなく、平板形状のままの形状にて、高い周波数（例えば、ATカットで、水晶板の厚さが $10\mu\text{m}$ の場合、 167MHz ）の水晶振動子が、安価に、多量に、RIE加工、又は化学的なウェットエッチング加工と、ポリシング加工を併用した加工方法にて製造することが出来る利点もある。

【0110】

現在の時点では、水晶板の直径が、1インチから2インチの場合、水晶の厚さは約 $75\mu\text{m}$ に、製造の限界がある、又、水晶の直径が3mm前後の場合の、水晶の厚さは、約 $24\mu\text{m}$ に製造の限界があるが、本考案の加工補助具を使用しての、両面研磨加工機械、又は片面研磨加工機械などの、機械的な研磨加工と、RIE加工、又は化学的なWetエッチングである、化学的なエッチング手段を併用することで、上記の限界を解決することが出来る。

上記のような製造の限界を、本考案の加工補助具を使用した、機械研磨加工の手段を使用するか、又は加工補助具を使用しないでもよい、機械研磨加工手段である、例えば、フロートポリシング研磨加工方法、又はその他の研磨加工方法と、RIE加工、又は化学的なWetエッチングを併用して、（機械研磨加工→RIE加工→機械研磨加工）、（又は機械研磨加工→RIE加工→機械研磨加工→化学的なWet Etching加工）行うことで、直径が1インチから2インチの場合の基盤でも、容易に、厚さが $10\mu\text{m}$ 前後の、厚さの水晶板を製作することが出来るので、下記のような利点がある。

- ① 1インチから2インチ以上の基盤でも、厚さが $10\mu\text{m}$ 内外の、平板の水晶板が加工出来るので、 167MHz 以上の水晶振動子を多量に安く製造することが出来る。現在は、直径が3mmの場合でも、 $24\mu\text{m}$ に製造の限界があるので、せいぜい、約 70MHz 前後に、製造の限界がある。
- ② 機械的な研磨加工と、RIE加工と、化学的なWet Etchingを交互に併用する加工方法なので、研磨加工による歪が発生しない利点もある。
- ③ 水晶板の出来上がりの、平行度、及び面精度がよい。

④ この加工手段は、水晶以外の圧電素材にも利用することが出来る。

【0111】

現在、直径が1インチから2インチの場合の水晶板の場合、水晶の厚さは、 $75\mu\text{m}$ 以下の、水晶板を製作することは出来ない。水晶板の厚さが、 $75\mu\text{m}$ に製造の限界があるが為に、その後の、加工手段である、化学的なwetエッチングにて、無理な、過度のエッチングを行うので、穴（ピンホール）が発生したりするけれども、直径が2インチの場合で、水晶板の厚さが $10\mu\text{m}$ から $20\mu\text{m}$ 内外の厚さの、水晶板を製造することが出来ると、その後の、エッチング加工による取りしろが少ないので、水晶板に与える影響が小さくなることにより、極く薄くて、精度が高い加工が出来る。

さらに、直径が、1インチから2インチの場合で、水晶板の厚さが、 $10\mu\text{m}$ から $20\mu\text{m}$ 内外の、極く薄い水晶板を製造するには、加工補助具を使用しての、両面研磨加工機械、又は片面研磨加工機械、又はその他の研磨加工手段と、 C_2F_6 などのフッ素ガスを使用した、RIE加工、又は化学的なwetエッチング加工を併用して、交互に繰り返すことで、機械研磨加工による、取りしろ（研磨加工を行う厚さ）を、出来るだけ、小さくして、RIE加工などのエッチング加工にて、出来るだけ、取りしろを、大きくすることで、革命的に、極く薄くて、直径が大きくて、精度の高い、水晶板である、水晶振動子を、容易に、多量に製作することが出来る。

さらに、水晶板の直径が、例えば、1インチで、厚さが $10\mu\text{m}$ の水晶板（基盤）が出来ると、厚さが $10\mu\text{m}$ の場合だと、水晶板の直径は、100倍の直径があれば、振動子として振動するので、 $1\text{mm} \times 1\text{mm}$ の面積があればよいことになり、厚さが、 $10\mu\text{m}$ で、直径が1インチの水晶板（基盤）が出来ると、167MHzの水晶振動子が、1インチの水晶板、1枚の水晶板から、400個以上の水晶振動子が出来ることになるので、極端に、安くて、精度が高い、水晶振動子の製造が出来ることになる。

尚、水晶板の厚さが、 $10\mu\text{m}$ で、直径が1インチから2インチの基盤が出来ると、ダイシングソーなどの機械を使用して、切断することなく、半導体を製造する手段と同じく、レジストを塗布するか、又はドライフィルム（デュボンMR

Cドライフィルム社製)を使用してレジストし、直径が1 mmの、丸型形状にレジストして、露光したあと、必要な部分のレジストを残して、その後、RIE加工の加工手段を使用して、直径が1 mmの丸型形状に削り貫く加工手段を使用するならば、直径が如何に小さくても、如何に、出来上がりの個数が多くても、簡単に丸型形状、又は4角型形状、又はその他の形状に削り貫くことが出来る、これも、水晶板が、極く薄い(厚さが10 μ m前後)が為に、RIE加工を使用して、短い時間にて、削り貫くことが可能となる加工方法である、又水晶振動子及び水晶共振子としての形状としては、丸型形状の形状が、最も良い波型の周波数を発振する形状でもある。

【0112】

水晶板、又はシリコン、又はガリウムヒ素、又はその他の電子材料を、機械的な研磨加工を行なう場合、本考案の加工補助具を使用して、横方向の保持、及び動きは、加工補助具を形成している、第2の加工補助具、又は第3の加工補助具の側壁部分を、ストッパーとして、使用して保持し、縦方向の保持、及び動きを、真空の吸着力を使用して、水晶板などを加工補助具に固定するのであれば、極く弱い、真空の吸着力を使用しても、水晶板などを、加工補助具に、加工補助具の保持力と真空吸着の吸着力を併用して保持することが出来るので、極く弱い、真空の吸着力にて、水晶板などを、加工補助具に吸着することが出来ることで、真空の吸着力による、応力の発生が、極く小さいので、水晶板に与える歪が、極く小さくなることになり、真空の吸着力を使用することが出来る。これも、加工補助具と、真空の吸着力の、2つの効果を併用することで、水晶板を加工補助具に固定して、水晶板を片面研磨加工機械を使用して、機械的に、研磨加工することが出来る利点となる。

【0113】

極く薄い、水晶板を研磨加工するのに、溝を形成した、加工補助具を使用して、水晶板を固定する場合、水晶板の側壁に接着剤層を形成して、水晶板を加工補助具に固定するならば、水晶板の厚さに関係なく、接着剤層の厚さを、厚くすることが出来るので、接着剤層が薄くなっても剥離することがない。

【0114】

第1の加工補助具と、第2の加工補助具を使用して形成した、加工補助具を使用して、水晶板を研磨加工すると、水晶板を加工補助具に、全く接着剤を使用することなく、加工補助具に水晶板を固定して、両面研磨加工機械を使用して研磨加工することが出来るので、接着剤を使用することにより起こる、歪の発生が起らないので、精度の高い加工を行うことが出来る。

【0115】

水晶などの圧電素材を、RIE加工にて加工を行う場合には、フッ素系ガスとしては、 C_2F_6 を使用すると、加工表面の出来上がりの精度は、 CF_4 などよりも、 C_2F_6 を使用したほうが、一段と表面精度の出来上がり精度がよい、又最後のRIE加工として、 O_2 を使用してクリーニングを行なうと、水晶板の表面上の不純物を除去する効果がある。

【0116】

RIE加工を使用して水晶板などの圧電素材、又はその他の電子材料を加工すると、イオン粒子が激突する、水晶板などの表面上においては、イオン粒子が激突した瞬間には、イオン粒子の運動エネルギーの作用により、水晶板の表面上においては、極く少量ずつ、水晶板が溶解して、水晶板の表面上では、キュリー温度（495℃位）以上の温度上昇が起こり、水晶板の表面上では、水晶板が、ガス化して気化し、水晶板の粒子が、フッ素系のイオン粒子、又は塩素系のイオン粒子、又はアルゴンなどのイオン粒子、又はその他のイオン粒子などと、化学的に反応して、吹き飛んでいる現象が起こっているが為に、水晶板などの結晶軸、及び結晶方向のあるものが、イオン粒子が加速されて激突した、水晶板の表面上では、極く薄い非晶質（結晶ではなくなる）の膜が、水晶板の表面上に形成されるので、圧電素材である、水晶板などの電氣的な特性が、極端に低下する現象が起こる、この現象を解決する手段としては、イオン粒子が激突して水晶板上に発生した、極く薄い非晶質の膜、又は酸化膜（部分）である、加工変質層を、化学的なWet Etchingなどの、化学的なエッチング手段を使用して除去するよりも、機械的な研磨加工手段を使用して、水晶板の表面上に形成されている、加工変質層（非晶質）の部分を除去するほうが、水晶板の電氣的な特性を、一段と改善して、水晶板、本来の電氣的な特性を発揮することが出来る。

尚、水晶板の表面上に発生した、非晶質の部分を除去する手段としては、化学的なWet Etchingよりも、機械的な研磨加工手段を使用して、非晶質の部分を除去するほうが、製造工程上から考えると、歩留まりはよいけれども、歩留まりを考えなければ、化学的なWet Etchingを使用して、非晶質の部分を除去するほうが容易である。けれども、周波数を、微調節する、微調節の手段としては、RIEの加工手段、又は化学的なWet Etchingの手段も利用して、微調節をする必要性はある、けれども、水晶板の電気的な特性が最もよい加工手段としては、機械的な研磨加工手段が、水晶板の電気的な特性を発揮することが出来るので、出来るだけ、最終仕上げ工程にては、機械的な研磨加工手段を使用するほうがよいが、極く少量の取りしろならば、化学的なWet

Etchingを使用しても、又RIE加工を使用して微調節しても、水晶板の電気的な特性は、ほとんど低下しないので、最終仕上げ工程にては、化学的なWet Etching、又はRIE加工を使用してもよいが、出来るだけ、最終仕上げ工程は、機械的な加工手段を使用するほうがよい。

【0117】

現在の時点まで、RIE加工の加工手段は、素晴らしい、加工技術であるけれども、RIE加工の加工手段が、電子材料、及び圧電材料業界、特に圧電業界である、水晶業界において使用されていなかった原因は、例えば、水晶板に、RIE加工を行なうと、イオン粒子を光の速さに近い速さまでに、速くは加速出来ないが、通常、RIE加工にて使用するイオン粒子は、電極間に600V位の電圧で、電流としては240Wから300W位の電流をかけて、イオン粒子を秒速数10kmから数100kmの速さに、フッ素系、又は塩素系のイオン粒子を加速して、水晶板の表面上に激突させる加工手段であるが為に、イオン粒子が激突する、水晶板の、極く薄い、表面上においては、イオン粒子が激突した瞬間においては、イオン粒子の運動エネルギーにより発生する、数1、000℃（例えば、1、500℃から3、000℃位の高温になる、ちなみに、水晶及び石英が溶解する、溶解温度は1、140℃である）に達する、熱の影響で水晶板の表面上においては、水晶板の表面上は溶解して、極く一部分ではあるが、水晶板の表面上では、極く薄い、数 μm （例えば、0.2 μm から1.0 μm 程度）の非晶質（

結晶ではなくなり、非晶質の石英、又はフッ素イオンが、水晶の酸素と化学反応を起こすことにより出来る、シリコンの膜、又はその他の酸化膜となる）の部分の、ダメージ層が出来ることで、水晶本来の電氣的な特性が、極端に、低下して、周波数の、発振の波型の形状が悪くなる現象がおこる。

さらに、R I E加工を使用して、水晶板を加工したときに発生する、加工変質層（非晶質の部分）は、水晶板を加工した厚さには、少しは比例するけれども、ほとんど比例しないで、例えば、水晶板を $60\mu\text{m}$ 削り取ったときも、 $10\mu\text{m}$ のときも、数 μm のときも、加工変質層の厚さは $0.2\mu\text{m}$ から数 μm 前後で、全くといってもよいくらい、同じ厚さの加工変質層が発生する。ただし、当初、機械研磨加工を行なったときに出来た、微小なキズ、及び不純物が拡大して出来た凸凹は、削り取る厚さに比例して大きくなる、その割合は、R I E加工を使用して、 $10\mu\text{m}$ 削り取ったときに、約 $0.1\mu\text{m}$ から $1.0\mu\text{m}$ 位の凸凹が出来るけれども、面積に対して 5% 位の面積の割合なので、無視することが出来る面積でもある、又、R I E加工の加工手段を使用して、水晶板を加工したときに発生する凸凹（加工変質層）の太さは、イオン粒子を加速して、水晶板に激突させる速さが、秒速数 km の場合と、秒速数 10km の場合と、秒速 100km の場合では、それぞれに凸凹の発生する太さは異なるので、面精度を高めたい場合（加工変質層を小さくしたい場合）には、イオン粒子の加速を、低速にしたイオン粒子を、水晶板に激突させると良い。けれども、イオン粒子を激突させることには変わりはないので、大なり小なり、凸凹（加工変質層）は発生する。

上記のことを解決する手段として、R I E加工、又は化学的な *Wet Etching* の加工手段により発生した、水晶板の表面上に出来た、非晶質（加工変質層）の部分、を、機械的な研磨加工手段、を使用して除去することにより、本来、水晶が持っている電氣的な特性を発揮することが出来る、ということが判明したことは、今後の水晶振動子、及び水晶共振子などの、薄片化などの高精度の加工を行なう加工技術の進展となるばかりでなく、電子材料、及び圧電素材を加工する業界に与える影響は、はかりしれない、加工技術の発展となり、ひいては、今後の通信、電子業界に対して、基本波で、数 10GHz 以上の発振が出来る、水晶振動子及び水晶共振子を、容易に製作することが出来ることが判明したこと

は、今後、起こる革命的な、産業革命の、もととなる影響を与えることになる加工技術である。

【0118】

Dry Etching加工である、RIE加工、イオンミリング及びプラズマエッチング加工手段などの、Dry Etchingの加工手段、又は化学的な、Wet Etching加工の加工手段、又はその他の化学的な、Etchingの加工手段にて、水晶板の表面上に発生した、加工変質層（非晶質、又は酸化膜、又は化合物層）を除去する手段としては、機械的な研磨加工手段として使用する機械は、如何なる機械を使用してもよいし、又、水晶板の厚さとして、 $0.1\mu\text{m}$ から $0.5\mu\text{m}$ 程度を除去すれば良いので、小さく裁断、例えば、厚さが $10\mu\text{m}$ の場合には、直径が 1.2mm 、又は 2mm の丸形状、又は角形状に裁断するか、又は1インチ、又は2インチの基盤のままの状態にて、超音波振動、又はバレル研磨などを使用するか、又は人間の手作業でも、十分に、加工変質層を除去することは出来る作業でもある。又、遊離砥粒を使用した、その他の加工手段を使用しても、簡単に、加工変質層を除去することが出来る作業でもあるが、水晶本来の電氣的な特性を、十分に発揮することが出来るのは、機械的な研磨加工手段を使用して加工変質層を除去するほうが、一段と電氣的な特性が良い。

【0119】

上記の加工手段はSingle Inverted Mesa Type（片面が凹レンズ形状）でも、又はDouble Inverted Mesa Type（両面が凹レンズ形状）でも、又は、平板形状でも、又は、その他、如何なる形状の水晶板にでも応用することが出来る。又、加工変質層とは、非晶質で、フッ素の化合物層である、又は、その他の酸化物で出来ている膜なので、加工変質層とは、すなわち、電氣的には絶縁層である。この絶縁層が水晶板の両側面の、表面上に出来ているが為に、水晶板の両側面に、コンデンサーが出来ている状態となっているのと同じことなので、水晶板の表面上に加工変質層が存在すると、水晶板の電氣的な特性が、極端に低下して、発振の波型が悪くなり、Q値が低下する原因となる。この加工変質層（例えば、 $0.06\mu\text{m}$ 前後）を除去する

ことにより、水晶、又は水晶板本来の、電氣的な特性が、極端に向上して、リアクタンス周波数特性の、発振の波型が良くなり、Q値が高くなる現象が判明した。

【0 1 2 0】

上述したように、本発明によれば、従来困難とされた厚みよりも、薄い、圧電素子及び、その加工方法を提供することができ、これにより副振動の少ない、振動子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の加工方法の概略を示す説明図である。

【図 2】 水晶振動子の製作例 1 を示すもので、(a) は振動子の断面形状、(b) は振動子のノマルスキマイクログラフ、(c) はリアクタンス周波数特性を示すものである。表材は A T カットで、素材の厚みは $103\ \mu\text{m}$ 、径は $5\ \text{mm}$ 、加工寸法は厚さ $25\ \mu\text{m}$ 、曲率半径は $30\ \text{mm}$ である。

【図 3】 水晶振動子の製作例 2 を示すもので、(a) は振動子の断面形状、(b) はリアクタンス周波数特性を示すものである。表材は A T カットで、素材の厚みは $103\ \mu\text{m}$ 、径は $5\ \text{mm}$ 、加工寸法は厚さ $9\ \mu\text{m}$ 、曲率半径は $200\ \text{mm}$ である。

【図 4】 水晶振動子の製作例 3 を示すもので、(a) は振動子の断面形状、(b) はリアクタンス周波数特性を示すものである。表材は A T カットで、素材の厚みは $77\ \mu\text{m}$ 、径は $5\ \text{mm}$ 、加工寸法は厚さ $27\ \mu\text{m}$ である。

【図 5】 表材は A T カットで、厚みが厚い水晶振動子のリアクタンス周波数特性図である。

【図 6】 表材は A T カットで、厚みが厚い水晶振動子のリアクタンス周波数特性図である。

【図 7】 表材は A T カットで、厚みが薄い水晶振動子のリアクタンス周波数特性図である。

【図 8】 表材は A T カットで、厚みが薄い水晶振動子のリアクタンス周波数特性図である。

【図 9】 表材は A T カットで、厚みがさらに薄い水晶振動子のリアクタン

ス周波数特性図である。

【図 1 0】表材は A T カットで、厚みがさらに薄い水晶振動子のリアクタンス周波数特性図である。

【図 1 1】本発明の加工方法における第 1 の加工補助具の断面図である。

【図 1 2】本発明の加工方法における第 2 の加工補助具の断面図である。

【図 1 3】第 1 の加工補助具に第 2 の加工補助具と水晶板をセットした状態の断面図である。

【図 1 4】本発明の加工装置の他の例を示す断面図である。

【図 1 5】本発明の加工装置の他の例を示す断面図である。

【図 1 6】本発明の加工装置をラッピングプレートに挟んだ状態を示す断面図である。

【図 1 7】本発明の加工装置における、他の加工補助具の平面図である。

【図 1 8】図 1 3 の加工補助具で製作された水晶板の断面図である。

【図 1 9】図 1 3 の加工補助具で製作された水晶板の断面図である。

【図 2 0】ラッピングプレートの運動を示す平面図である。

【図 2 1】ラッピングプレートの運動を示す平面図である。

【図 2 2】本発明の実施例を示す上面図である。

【図 2 3】本発明の実施例を示す断面図である。

【図 2 4】本発明の実施例を示す断面図である。

【図 2 5】本発明の加工装置の例を示す断面図である。

【図 2 6】図 2 5、又はその他の装置で製作された水晶板の断面図である。

【図 2 7】加工補助具の他の例を示す断面図である。

【図 2 8】加工補助具の他の例を示す断面図である。

【図 2 9】加工補助具の他の例を示す断面図である。

【図 3 0】本発明の実施例を示す断面図である。

【図 3 1】本発明の実施例を示す上面図である。

【図 3 2】本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

【図 3 3】本発明の実施例における加工工具を示す側面図である。

【図 3 4】本発明の実施例における砥石の実施例を示す側面図及びその A -

A断面図である。

【図 3 5】本発明の実施例における加工された実施例を示す断面図である。

【図 3 6】本発明の実施例における砥石の他の例を示す側面図及び平面図である。

【図 3 7】本発明の実施例における加工工具の他の例を示す断面図である。

【図 3 8】本発明の実施例における加工工具の他の例を示す断面図である。

【図 3 9】本発明の実施例における加工工具の他の例を示す断面図である。

【図 4 0】本発明の実施例における加工工具の、実際の製作図を示す側面図及び上面図である。

【図 4 1】本発明の実施例における加工工具の、実際の製作図を示す拡大図の断面図及び側面図である。

【図 4 2】本発明の実施例における加工された実施例を示す断面図である。

【図 4 3】本発明の実施例における加工された実施例を示す断面図である。

【図 4 4】図 1 3 の加工補助具で製作された水晶板の断面図である。

【図 4 5】図 1 3 の加工補助具で製作された水晶板の断面図である。

【図 4 6】図 1 4 の加工補助具で製作された水晶板の断面図である。

【図 4 7】本発明の実施例を示す断面図である。

【図 4 8】本発明の実施例を示す上面図である。

【図 4 9】本発明の実施例を示す上面図である。

【図 5 0】本発明の実施例を示す断面図である。

【図 5 1】本発明の実施例を示す断面図である。

【図 5 2】本発明の実施例を示す断面図である。

【図 5 3】本発明の実施例を示す断面図である。

【図 5 4】本発明の実施例を示す断面図である

【図 5 5】本発明の実施例を示す断面図である。

【図 5 6】本発明の実施例を示す断面図である。

【図 5 7】素材はATカットで、厚みが、薄い、水晶振動子のリアクタンス周波数特性図である。

【図 5 8】素材はATカットで、厚みが、一段と薄い、水晶振動子のリアク

タンス周波数特性図である。

【図 5 9】素材は A T カットで、厚みが、一段と薄い、水晶振動子のリアクタンス周波数特性図である。

【図 6 0】素材は A T カットで、厚みがさらに、一段と薄い、水晶振動子のリアクタンス周波数特性図である。

【図 6 1】本発明の実施例による加工方法を示す断面図及び上面図である。

【図 6 2】本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

【図 6 3】本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

【図 6 4】本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

【図 6 5】本発明の実施例による加工方法を示す断面図及び上面図である。

【図 6 6】本発明の実施例による加工方法を示す断面図及び上面図である。

【図 6 7】本発明の実施例による加工方法を示す断面図及び上面図である。

【図 6 8】本発明の実施例による加工方法を示す断面図及び上面図である。

【図 6 9】本発明の実施例による加工方法を示す断面図及び上面図である。

【図 7 0】本発明の実施例による加工方法を示す断面図及び上面図である。

【図 7 1】本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

【図 7 2】本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

【図 7 3】本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

【図 7 4】本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

【図 7 5】素材は A T カットで製作した水晶振動子の凹レンズ形状を形成した表面の形状を測定した測定図である。

【図 7 6】素材は A T カットで製作した水晶振動子の凹レンズ形状を形成した裏面の形状を測定した測定図である。

【図 7 7】素材は A T カットで製作した水晶振動子の凹レンズ形状を W e t E t c h i n g 加工にて形成した水晶板のリアクタンス周波数特性図である。

【図 7 8】素材は A T カットで製作した水晶振動子の凹レンズ形状を W e t E t c h i n g 加工にて形成した水晶板を、機械的な研磨加工手段を使用して加工したあとのリアクタンス周波数特性図である。

【図 7 9】本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

【図 8 0】本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

【図 8 1】本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

【図 8 2】本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

【図 8 3】本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

【図 8 4】素材は A T カットで製作した水晶振動子の凹レンズ形状を W e t E t c h i n g 加工にて形成した水晶板を研磨加工したあとのリアクタンス周波数特性図である。

【図 8 5】素材は A T カットで製作した水晶振動子の凹レンズ形状を W e t E t c h i n g 加工にて形成した水晶板を、機械的な研磨加工手段を使用して加工したあとのリアクタンス周波数特性図である。

【図 8 6】素材は A T カットで製作した水晶振動子の凹レンズ形状を W e t E t c h i n g 加工にて形成した水晶板を、機械的な研磨加工手段を使用して加工したあとのリアクタンス周波数特性図である。

【図 8 7】素材は A T カットで製作した水晶振動子の凹レンズ形状を形成した表面の形状を測定した測定図である。

【図 8 8】本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

【図 8 9】本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

【図 9 0】本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

【図 9 1】本発明の実施例による加工方法を示す断面図である。

【符号の説明】

1 ボール砥石、2 主軸、3 円筒形状磁石、4 水晶板、5 研削スピンドル、6 工具保持具、1 1 第 1 の加工補助具、1 2 リング形状又は 4 角形状又はその他の形状の溝又は段差、1 3 水晶板、1 4 円形状又はその他の形状をした溝、1 5 ポリウレタン、又は不織布などで出来ている、パッド、又はスウェード、1 6 孔、1 7 下部ラッピングプレート、1 8 上部ラッピングプレート、1 9 第 2 の加工補助具、2 1 及び 5 4 円筒、2 2 受圧面、2 3 及び 2 4 電極、2 5 増幅器、3 0 丸棒、3 1 チャック、3 2, 3 2', 3 2'', 3 2''' 及び 3 2'''' 研削又は研磨用砥石、3 2 (a) 溝、3 3, 3 3' 及び 3 3'' 加工工具、3 4 ツール保持具、3 5 支持アーム、3 6 軸受、

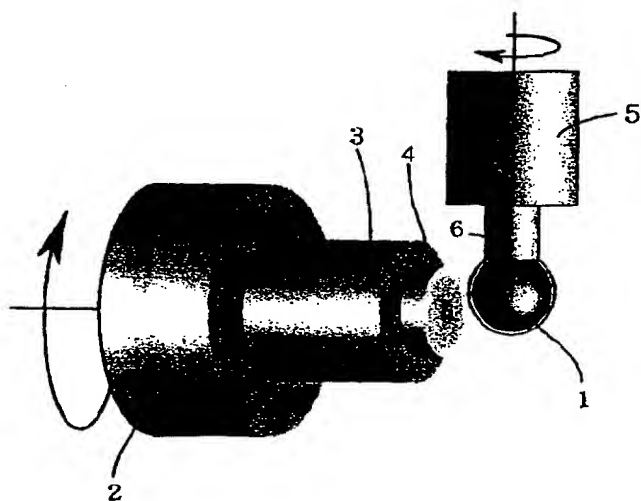
3 7 キャリア、3 8 インターナルギア、3 9 太陽ギア、4 0 エアノズル、4 1 噴水ノズル、4 2 及び 4 3 モータ、4 4 研磨具、4 5 接着テープ、4 6 穴又は空間部分、4 7 保持部分、4 8 固定用枠、4 9 金線、5 0 電極、5 1 保持部分、5 2 溝、5 3 スムーズライン、5 5 栓、5 6 保持部分、5 7 ダイヤモンド砥粒、5 8 圧電板、5 9 接着剤層、6 0 松脂、6 1 第 3 の加工補助具、6 2 空間部分、6 3 穴を形成したマスク板、6 4 穴、6 5 研磨剤、6 6 第 4 の加工補助具、

【書類名】

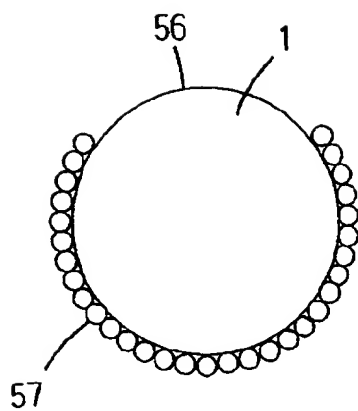
図面

【図 1】

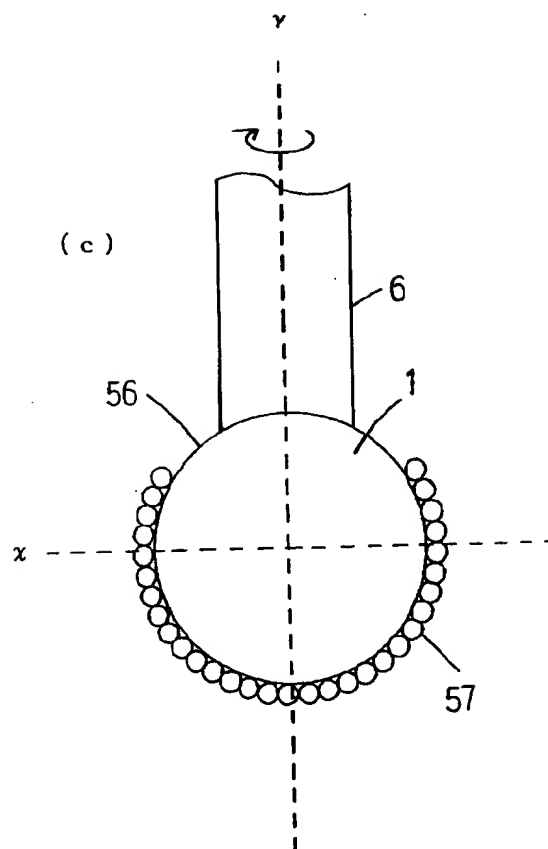
(a)



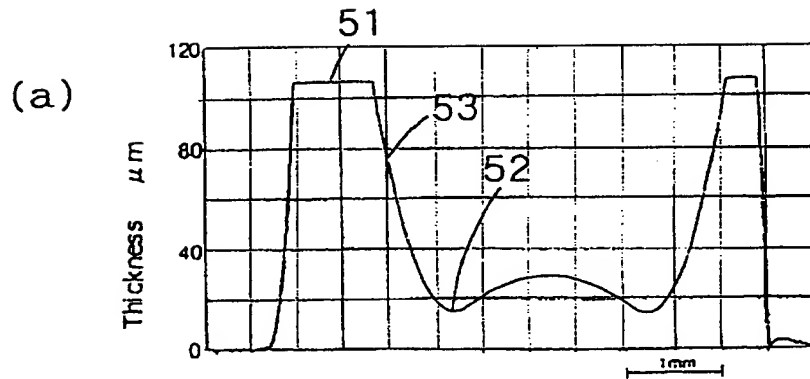
(b)



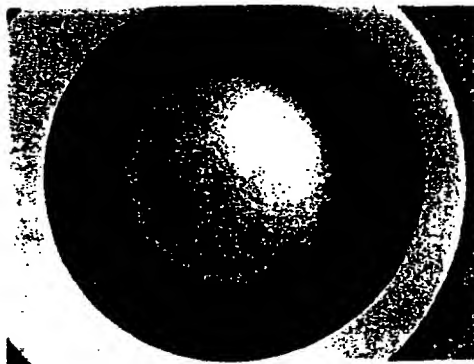
(c)



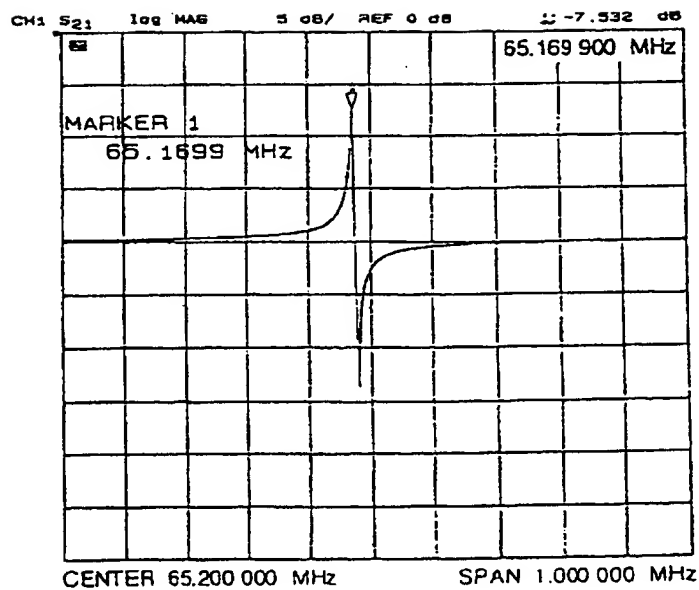
【図 2】



(b)

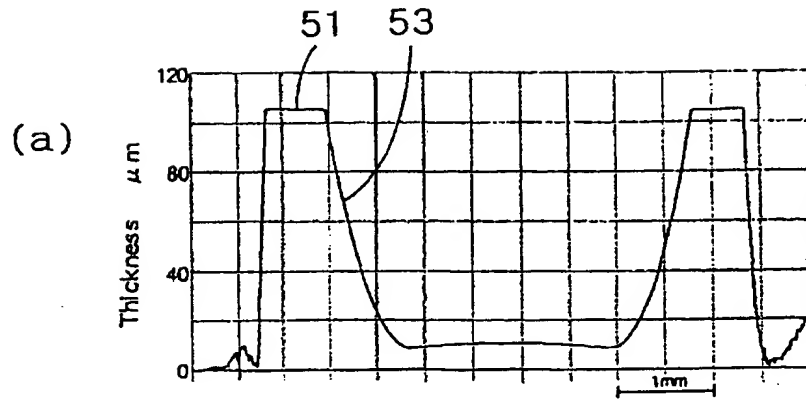


(c)

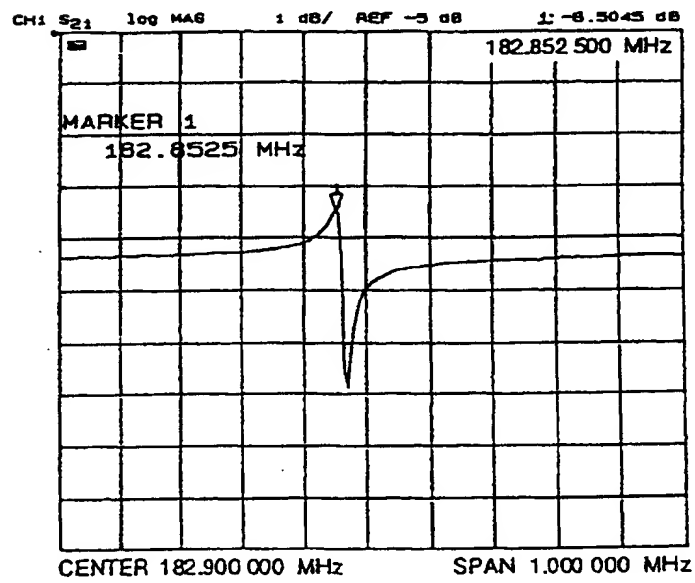


特平 1 1 - 3 2 4 4 9 2

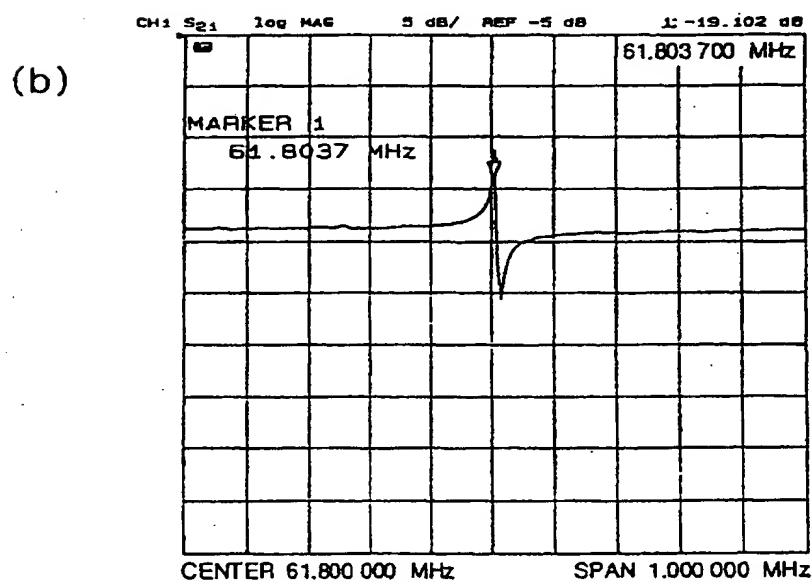
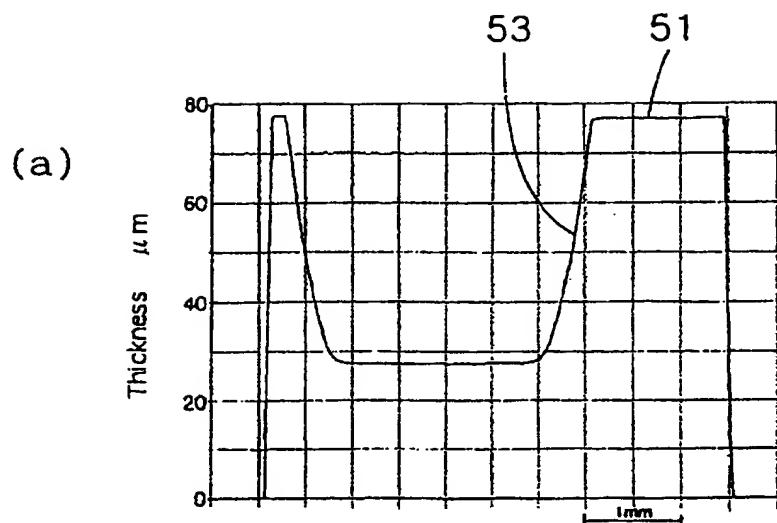
【图 3】



(b)

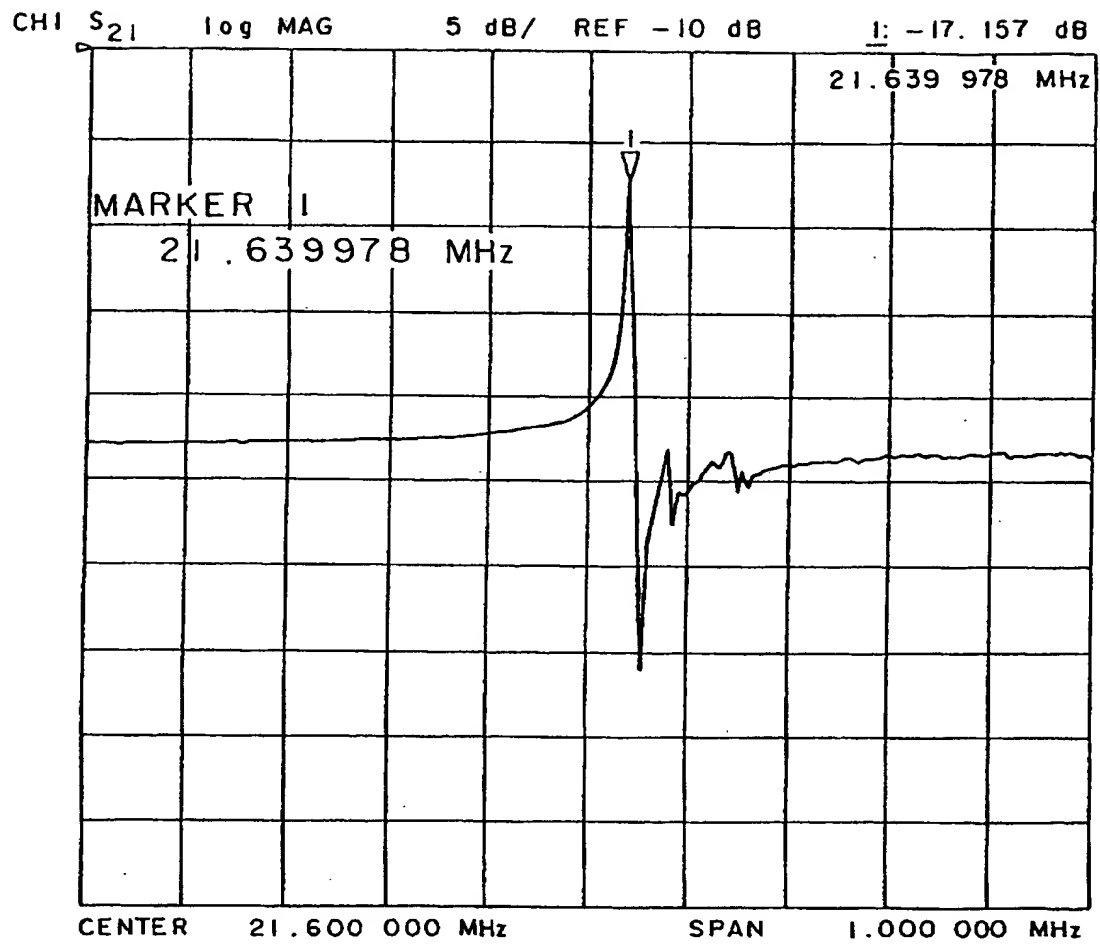


【図 4】

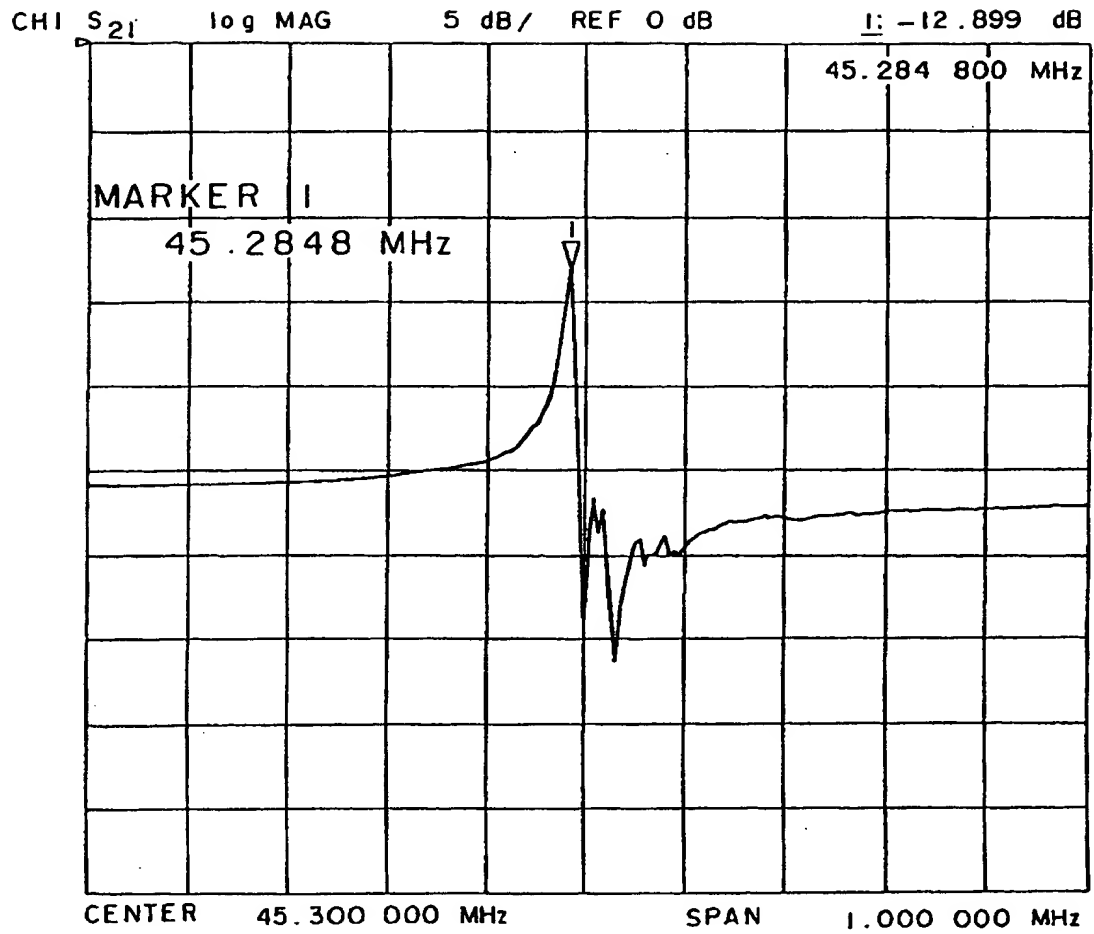


特平 11-324492

【图5】

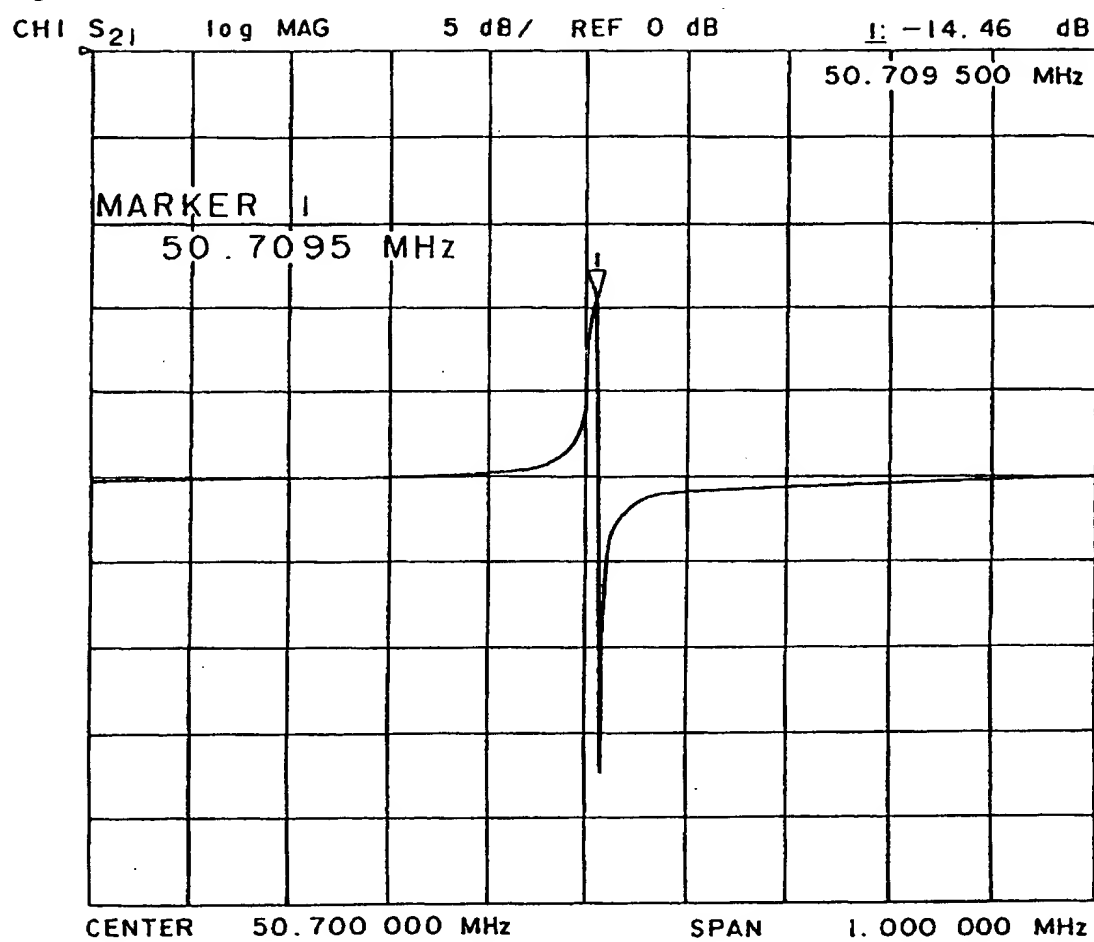


【図6】

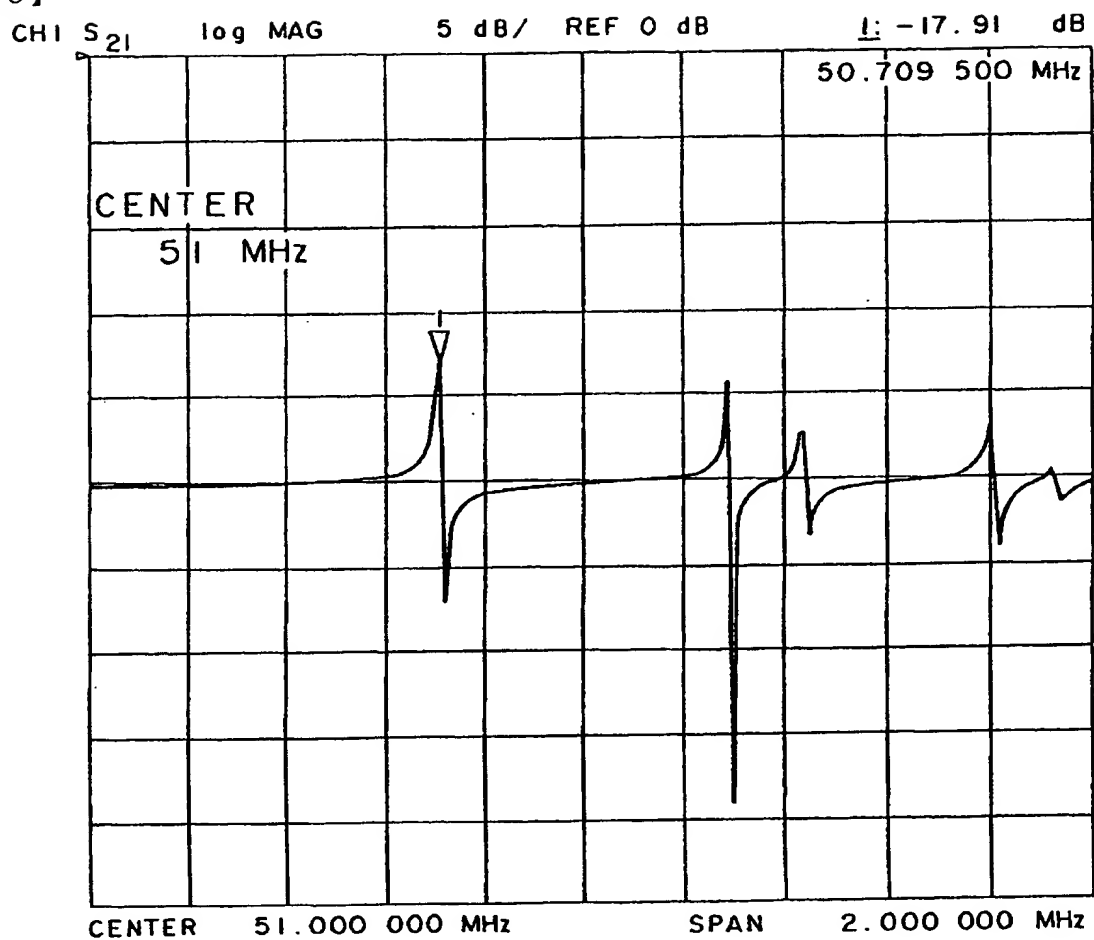


特平 11-324492

【図7】

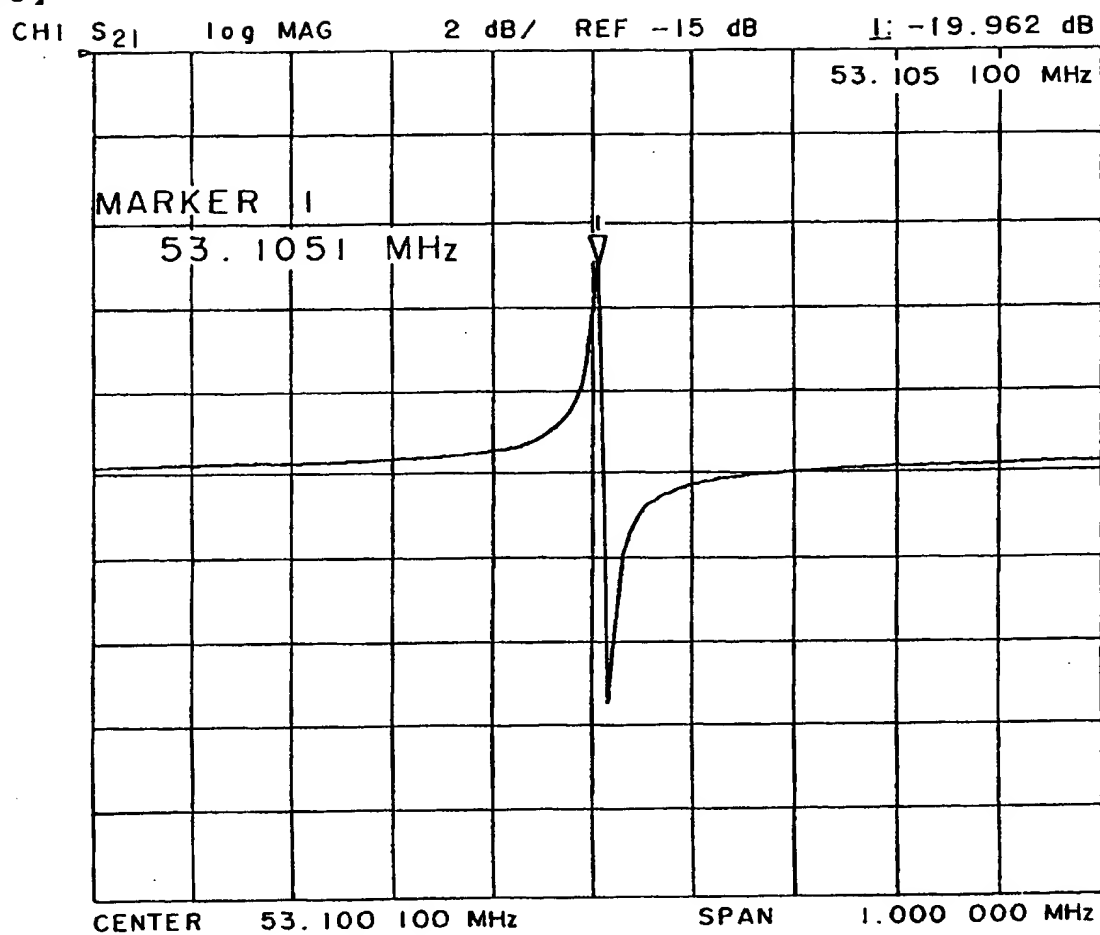


【図8】

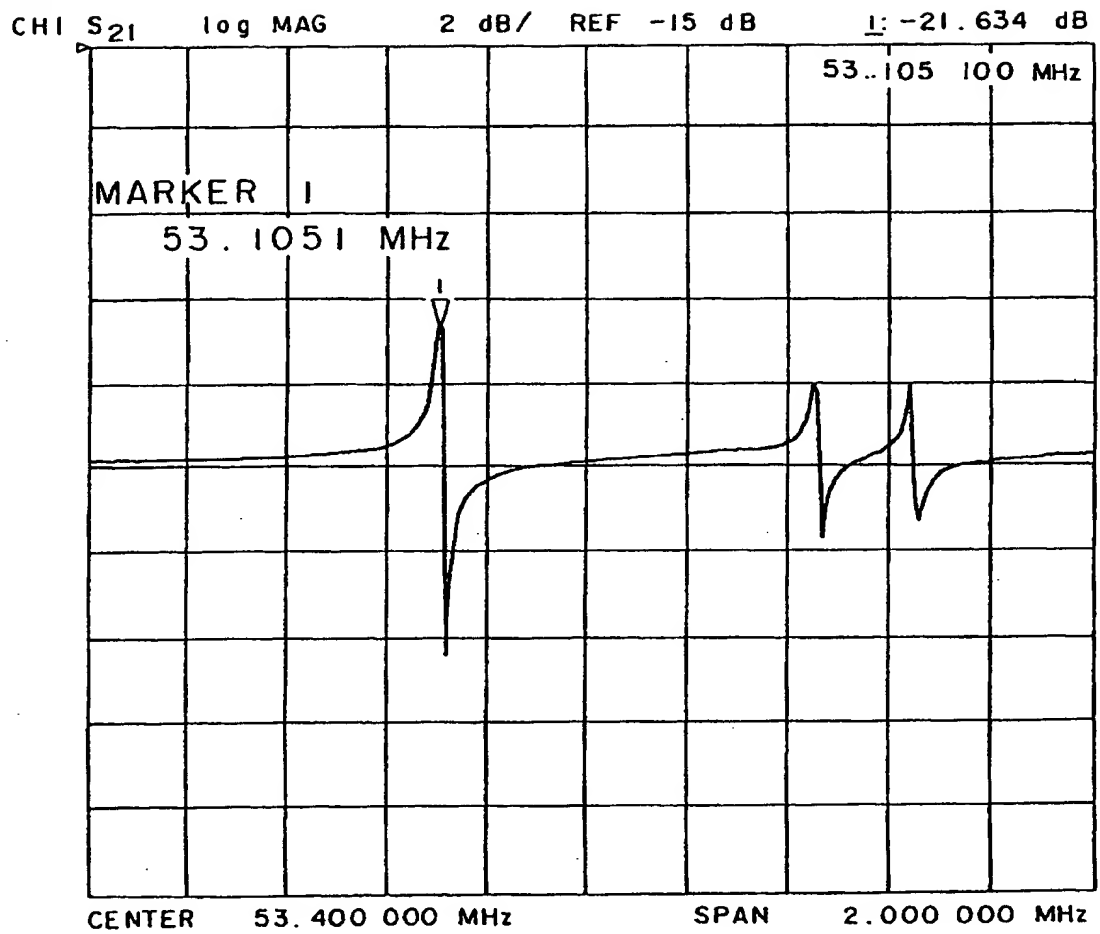


特平 1 1 - 3 2 4 4 9 2

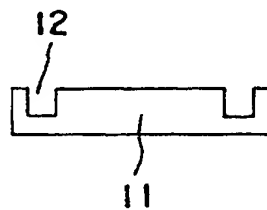
【図 9】



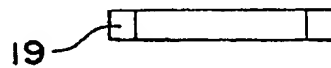
【図 10】



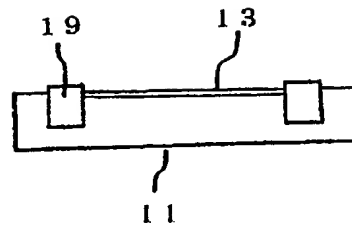
【図 11】



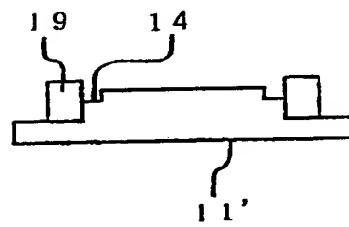
【図 12】



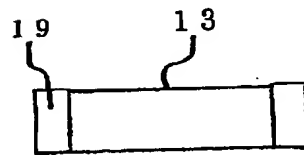
【图 1 3】



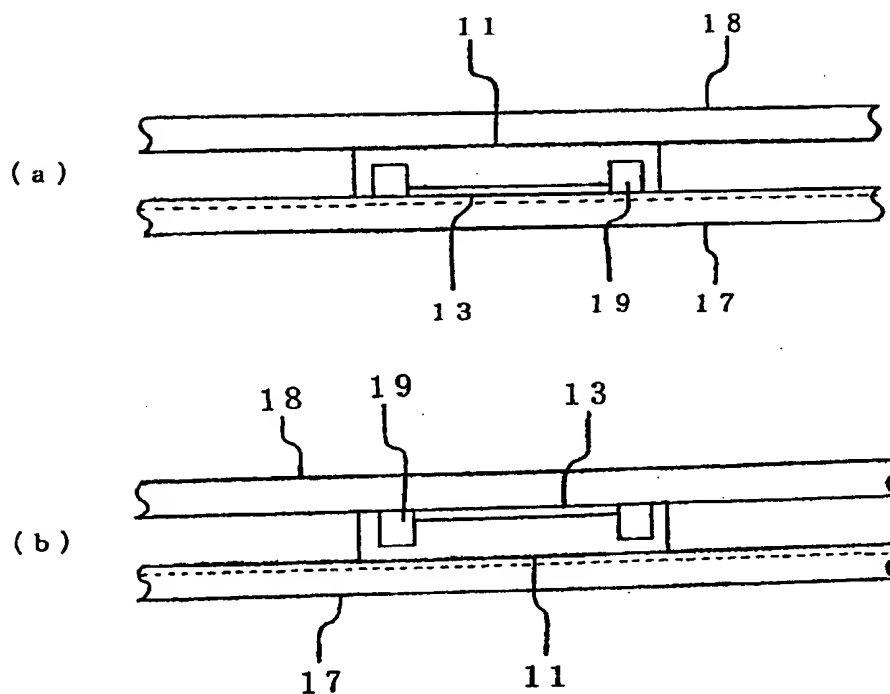
【图 1 4】



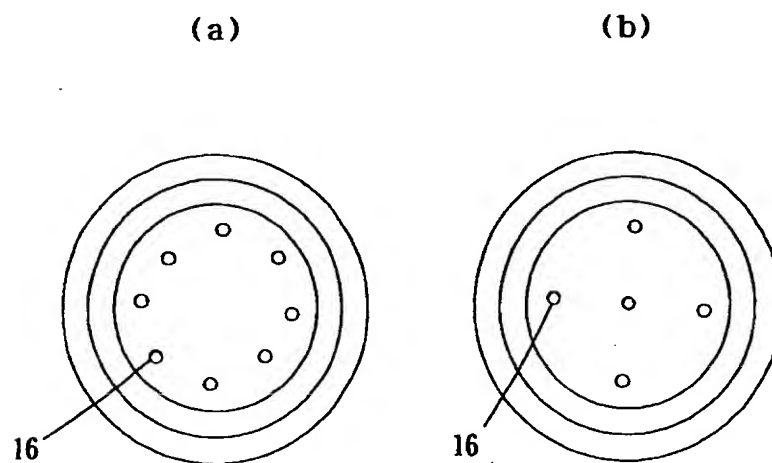
【图 1 5】



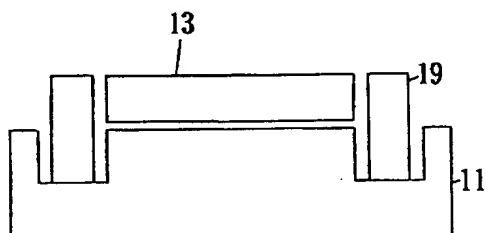
【図16】



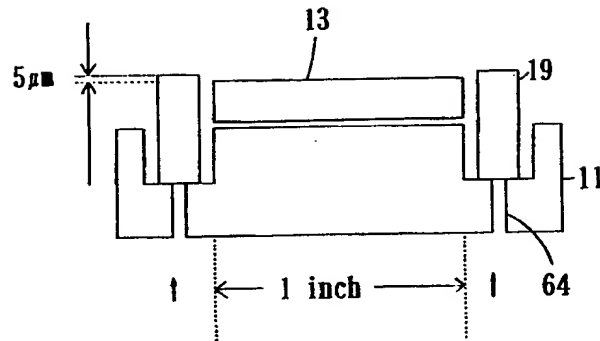
【図17】



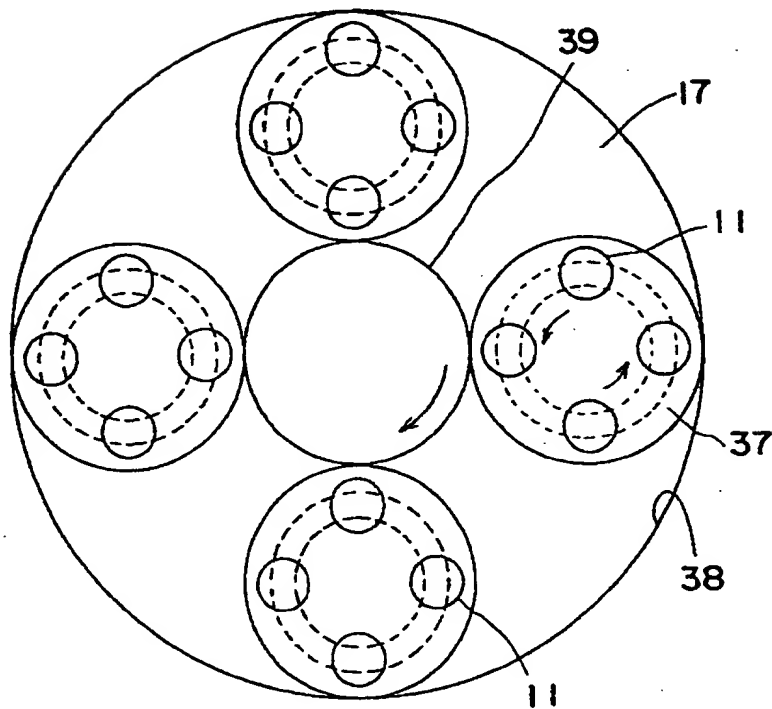
【図18】



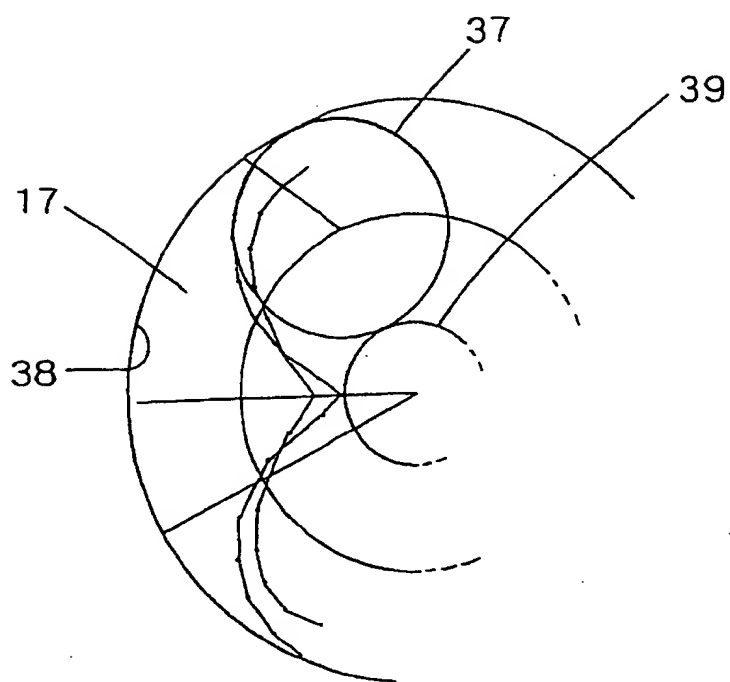
【図 19】



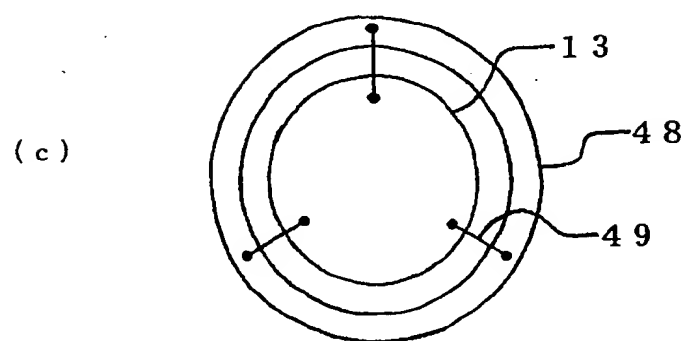
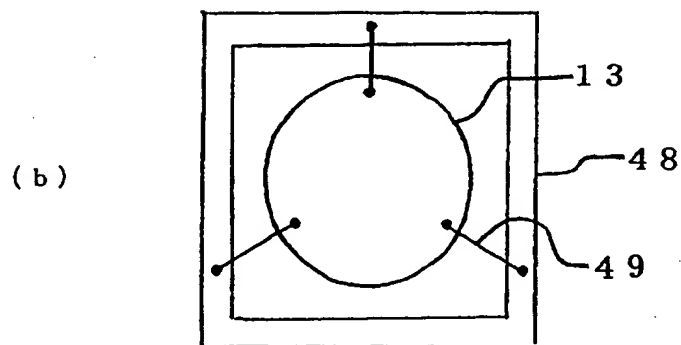
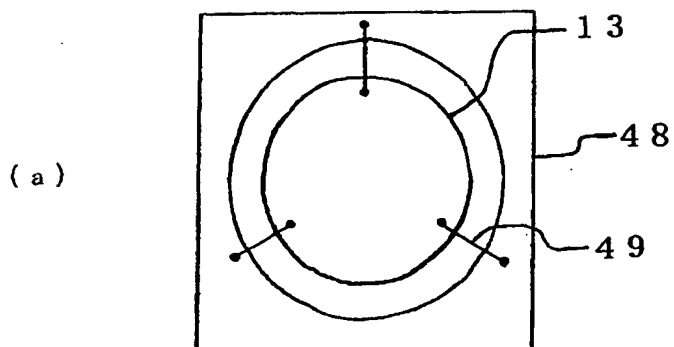
【図 20】



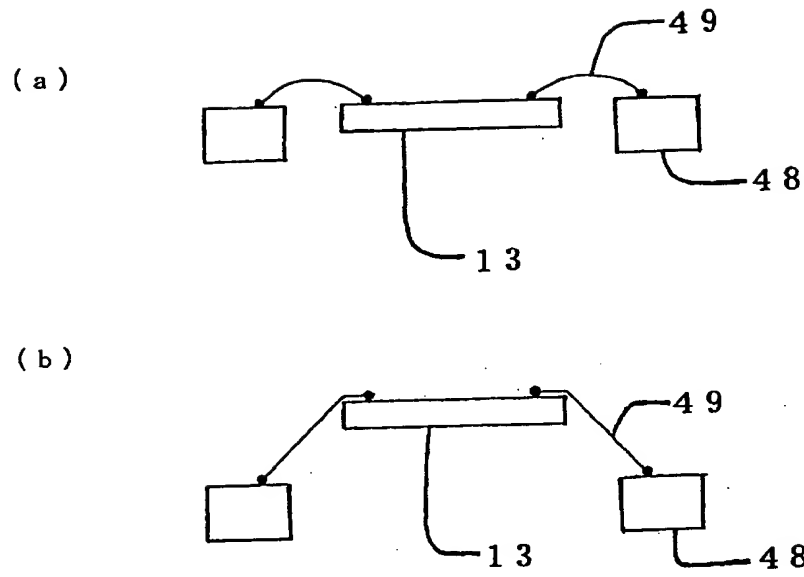
【図 2 1】



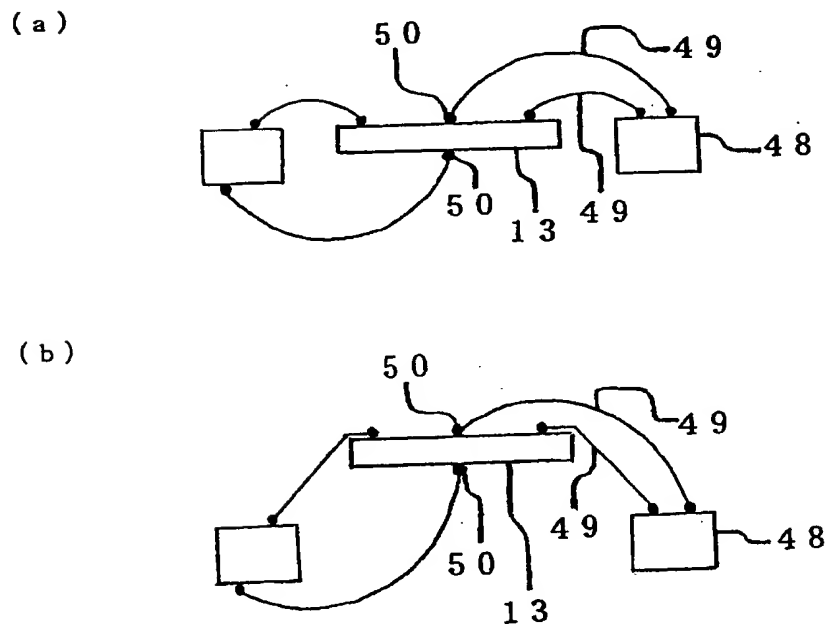
【图 2 2】



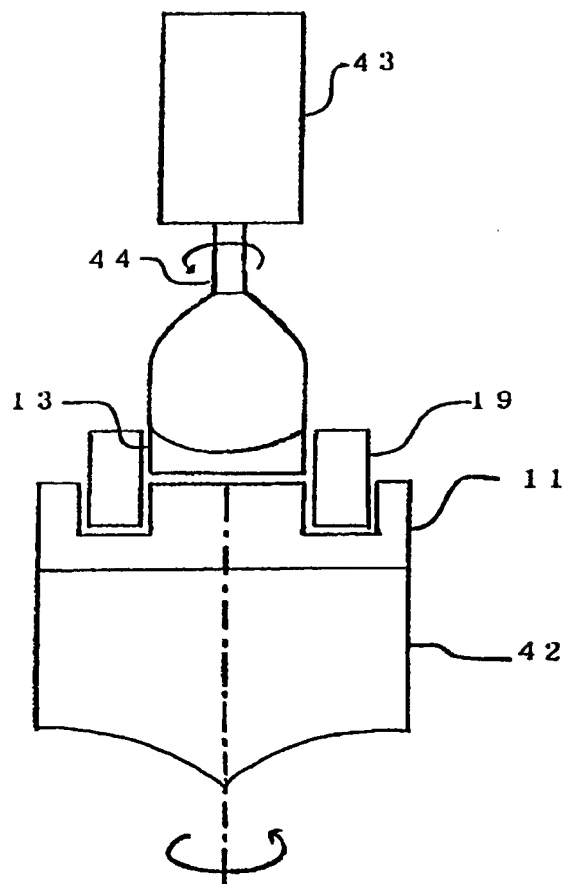
【図 23】



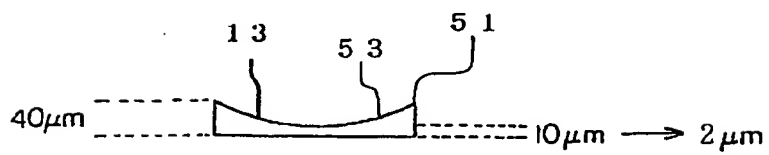
【図 24】



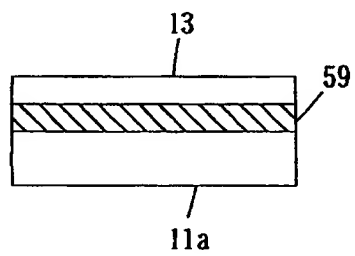
【図 2 5】



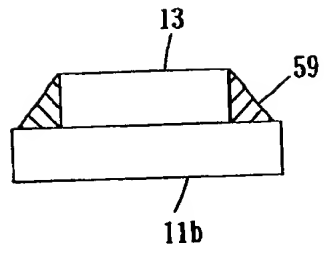
【図 2 6】



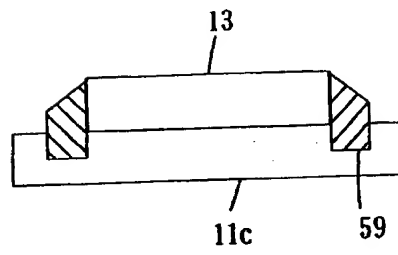
【図 2 7】



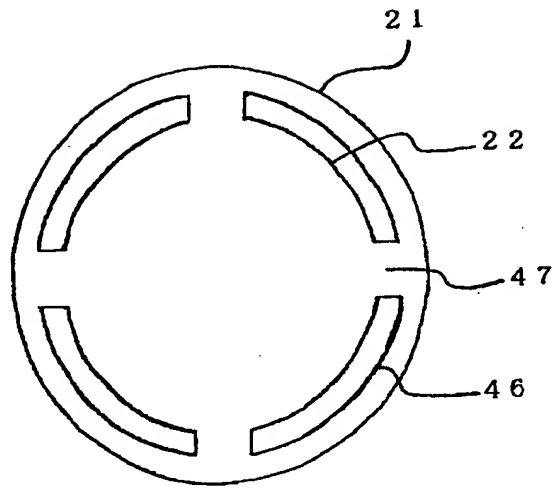
【図 2 8】



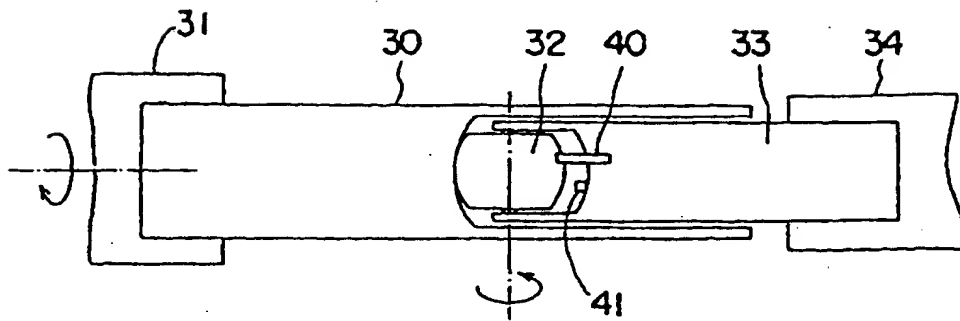
【図 2 9】



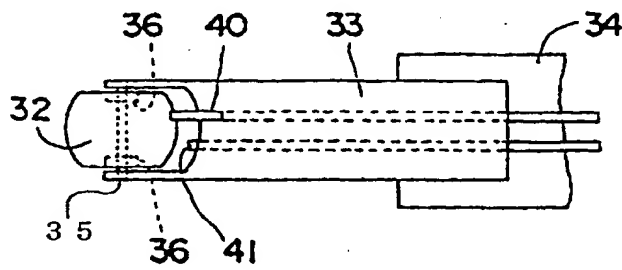
【図 3 1】



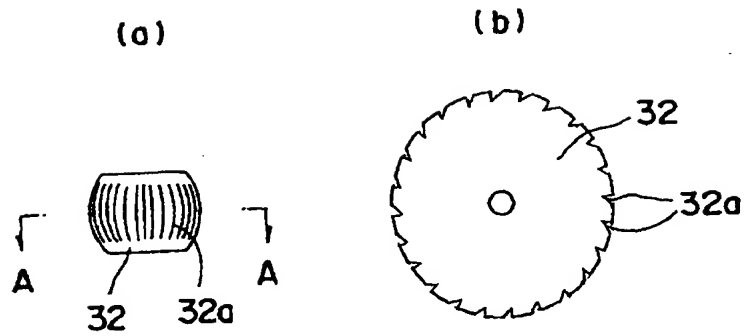
【図 3 2】



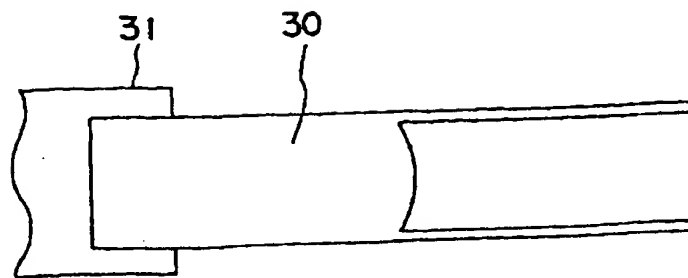
【図 3 3】



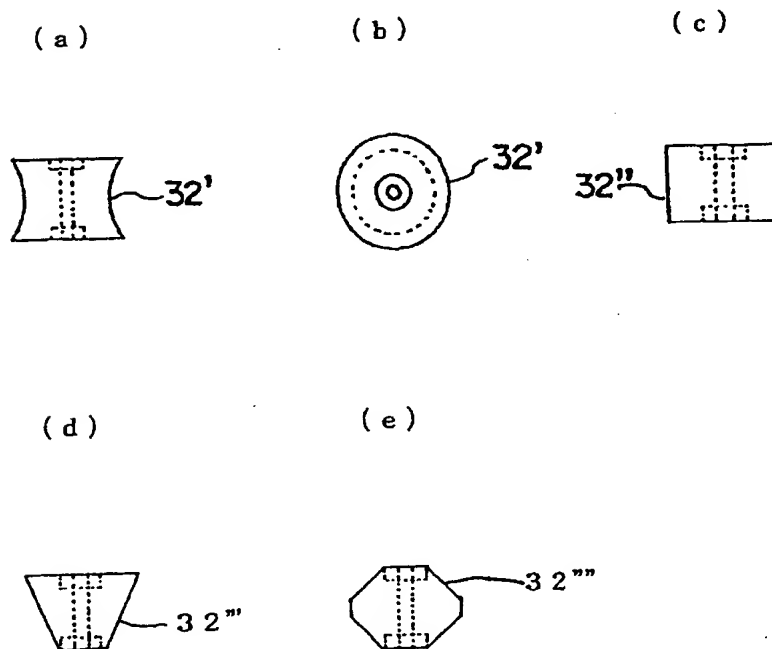
【図34】



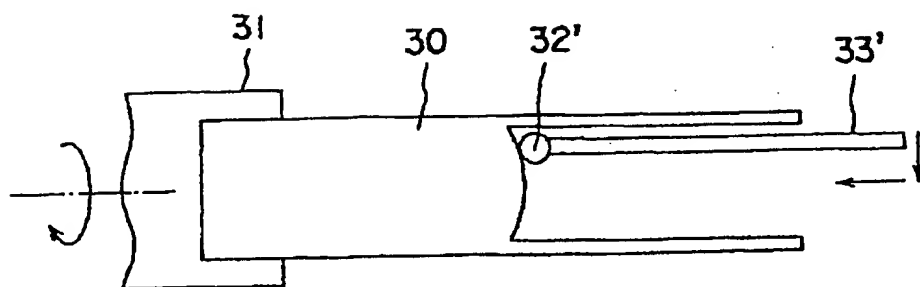
【図35】



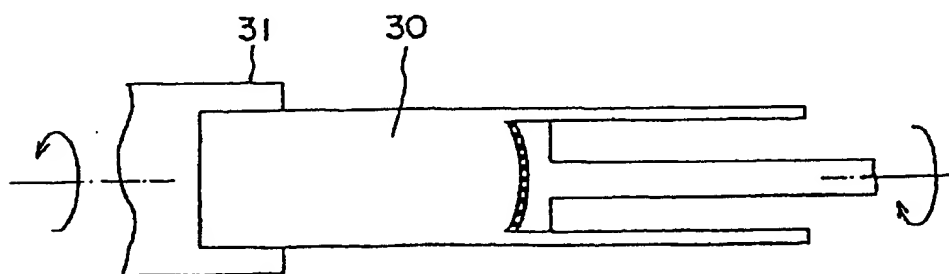
【図36】



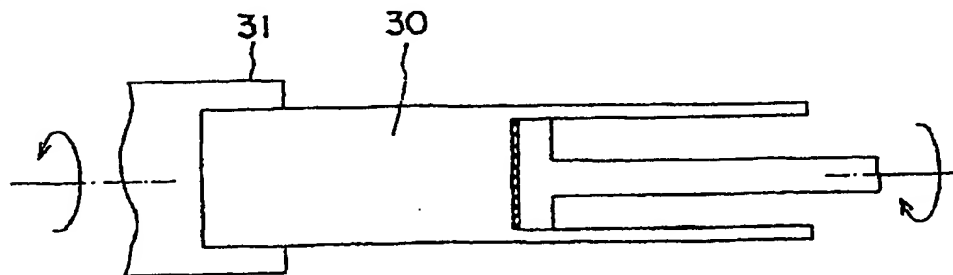
【図 3 7】



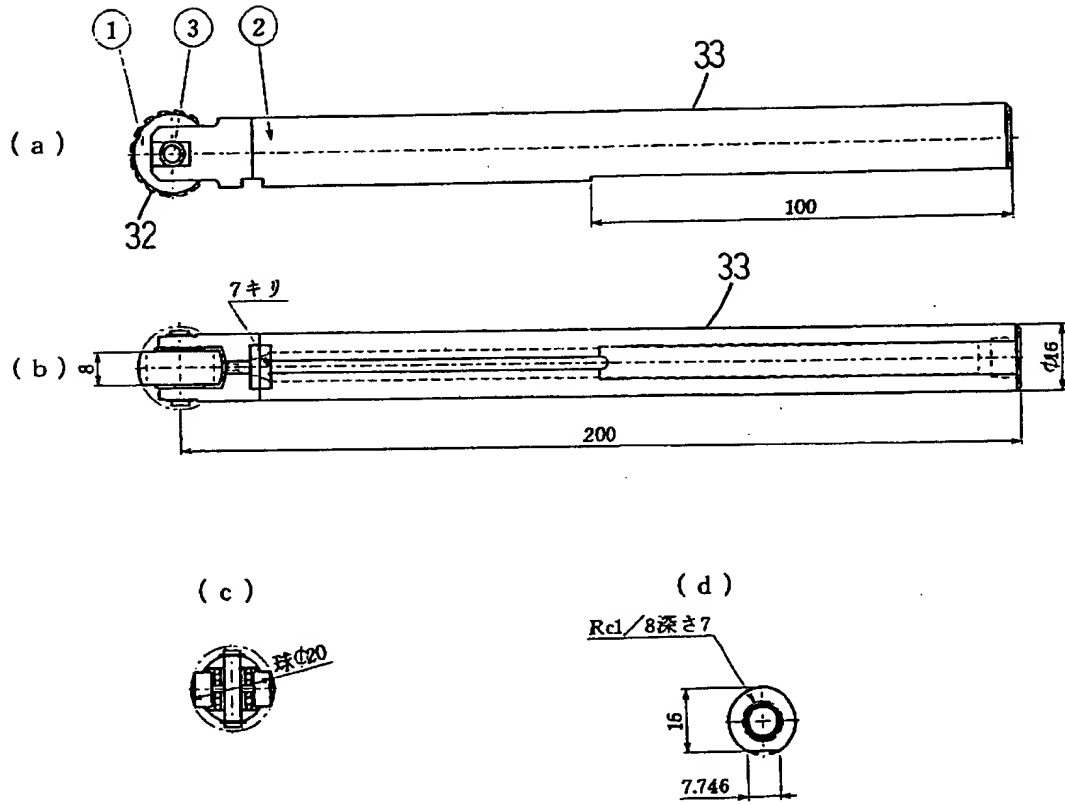
【図 3 8】



【図 3 9】

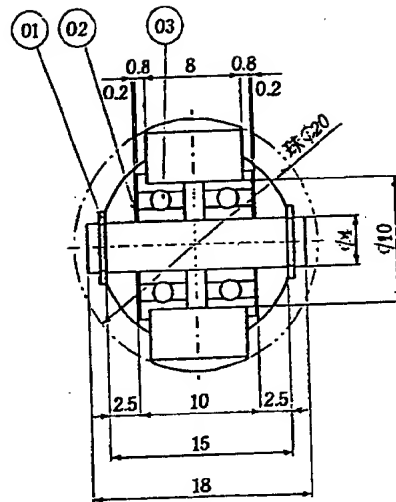


【図 40】

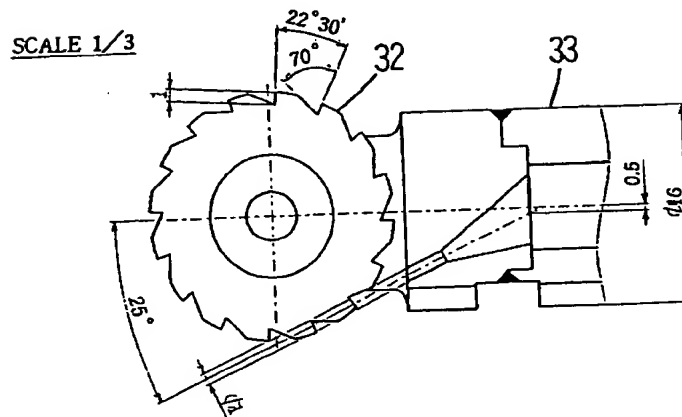


【図 4 1】

(a)

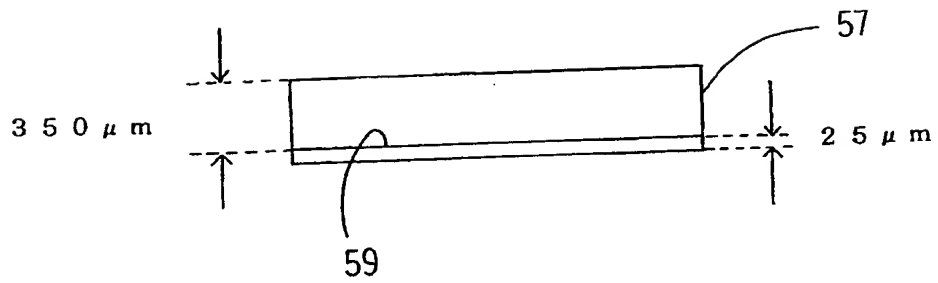


(b)

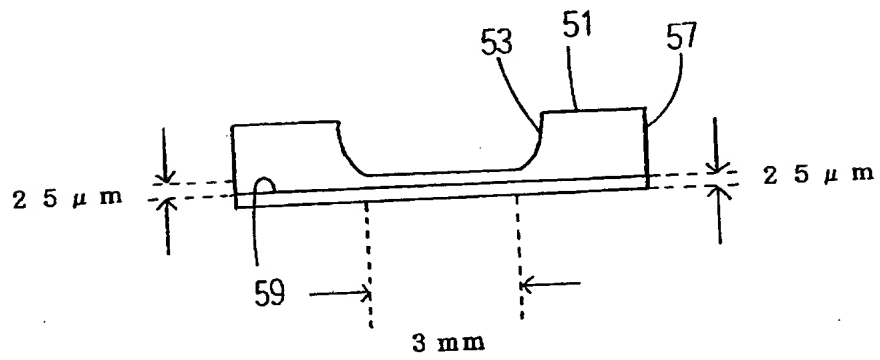


【图 4 2】

(a)

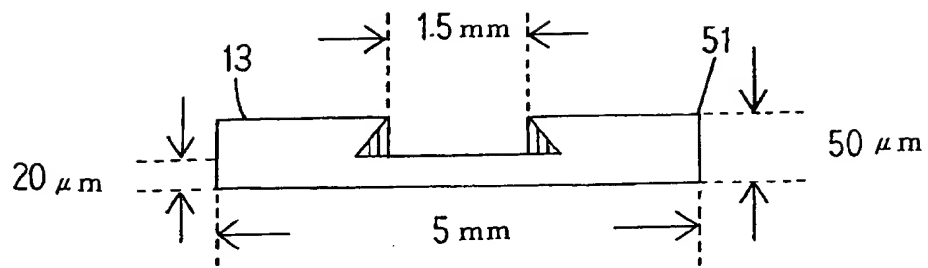


(b)

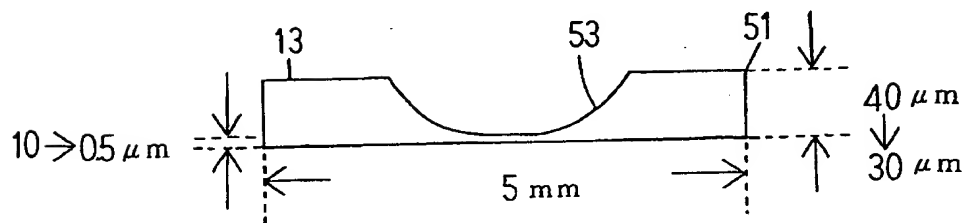


【図 4 3】

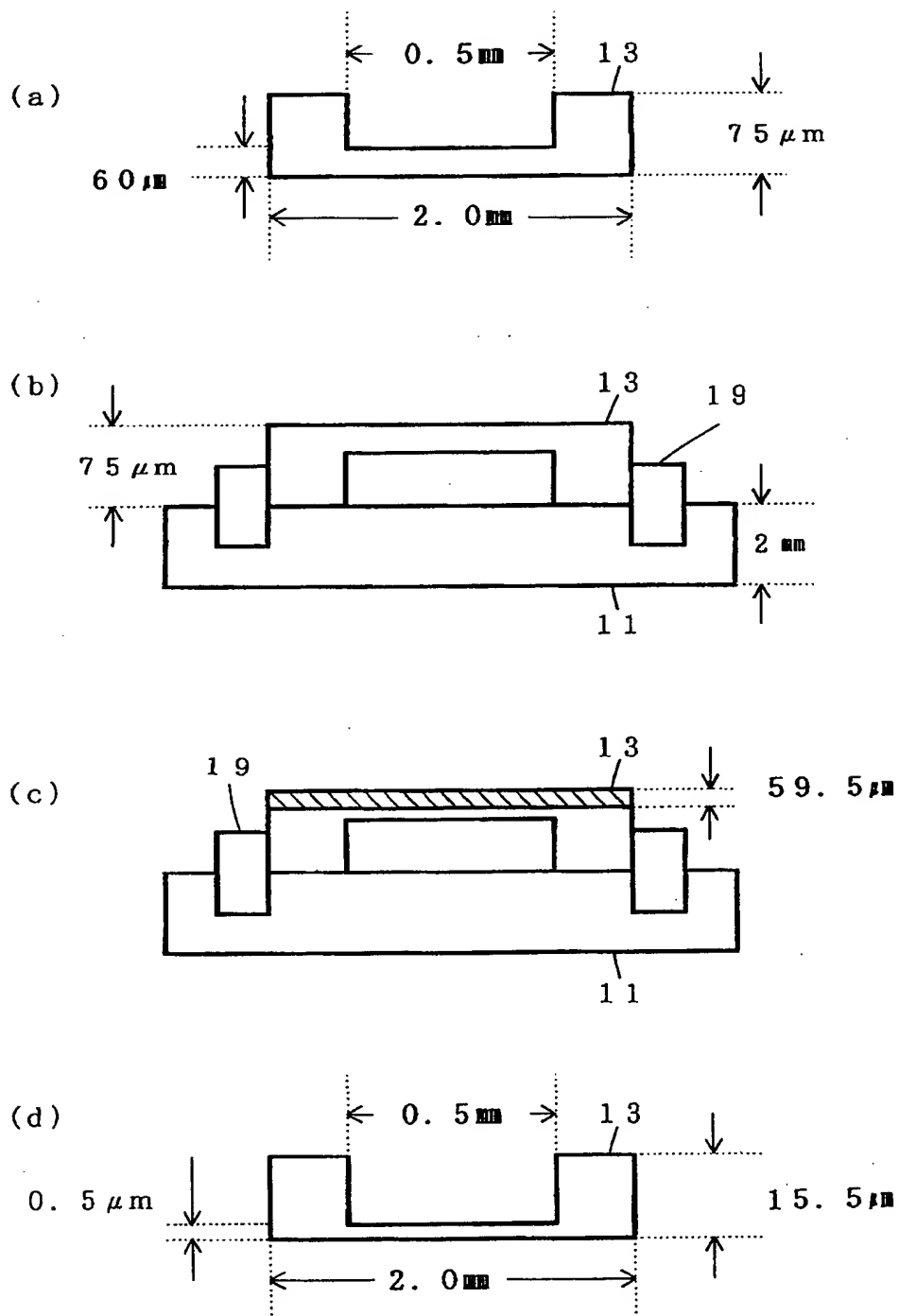
(a)



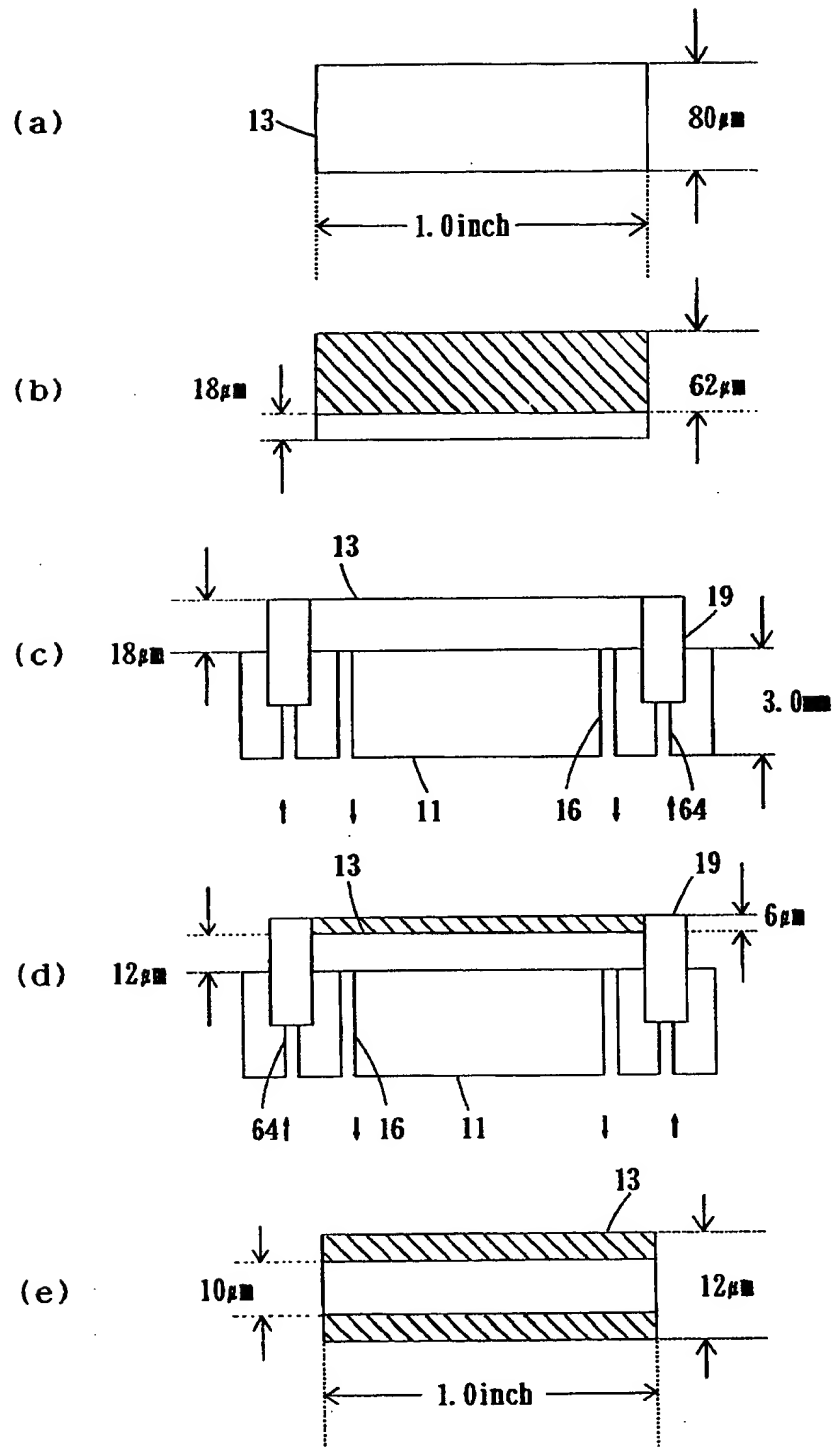
(b)



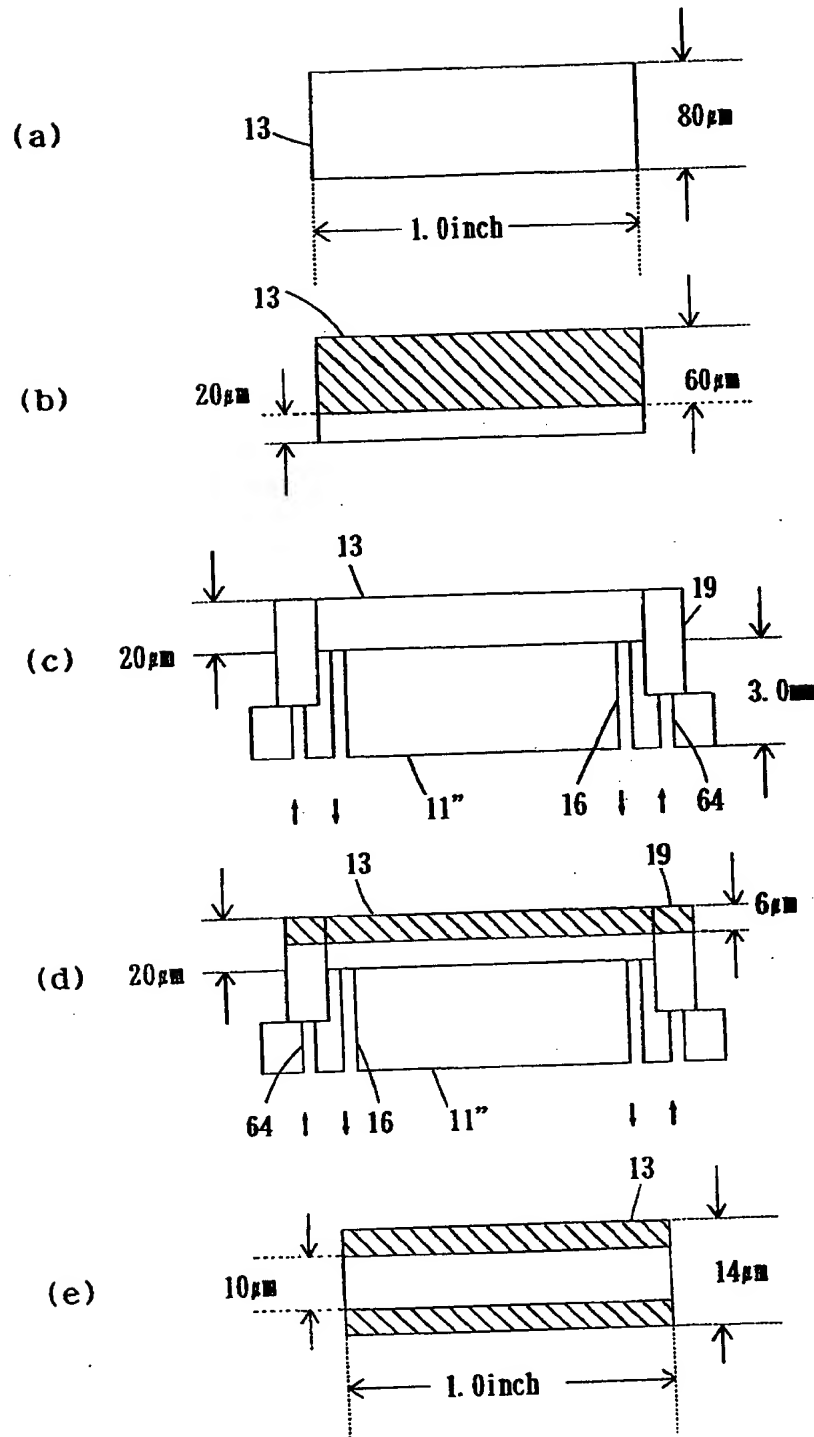
【图 4 4】



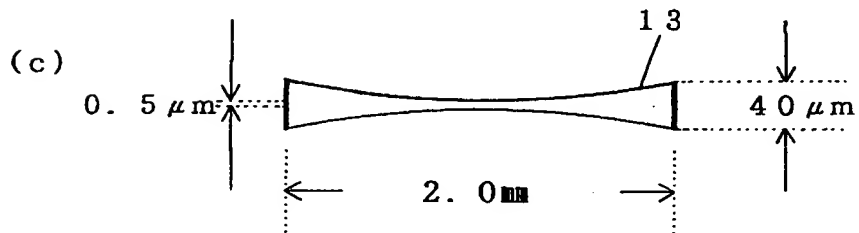
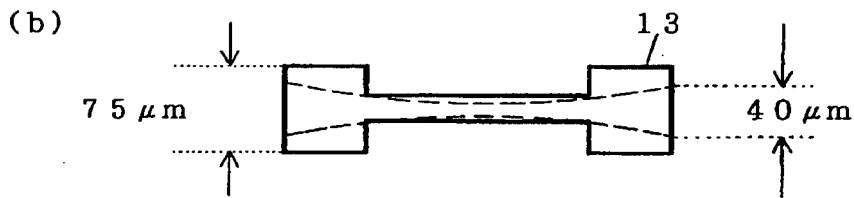
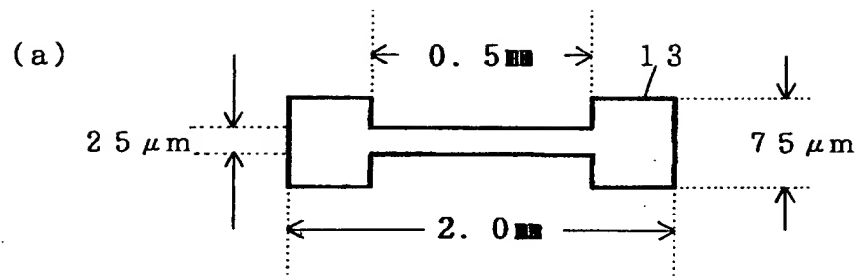
【図 4 5】



【図46】

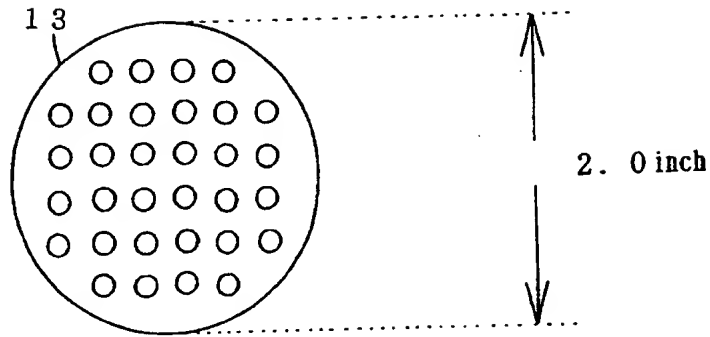


【図 4 7】

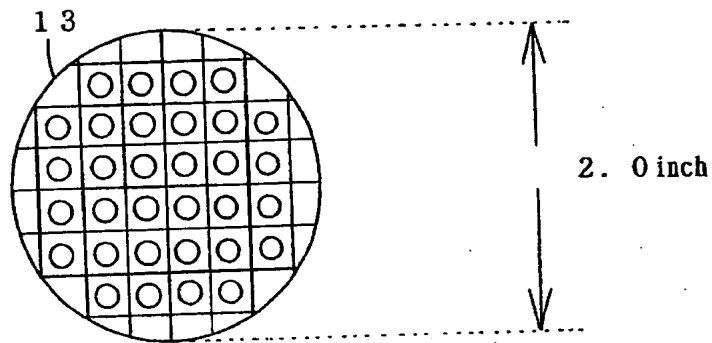


【图 48】

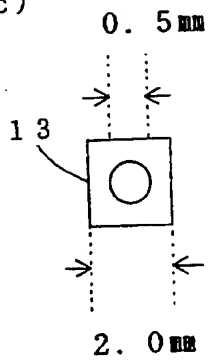
(a)



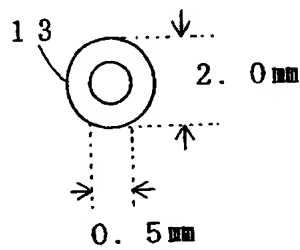
(b)



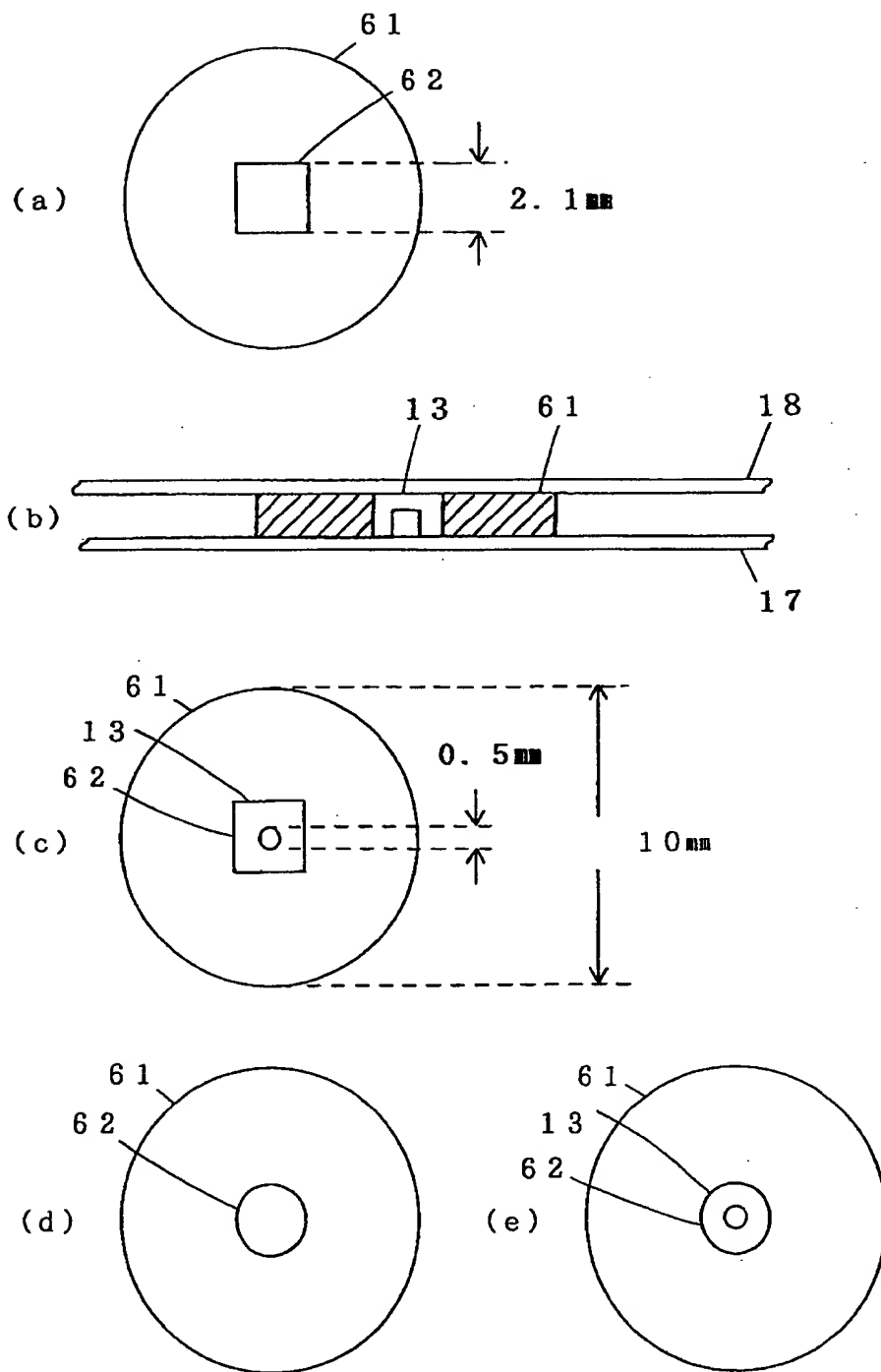
(c)



(d)

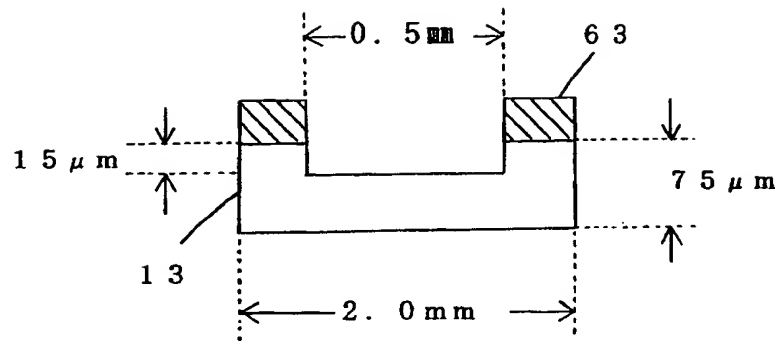


【図 49】

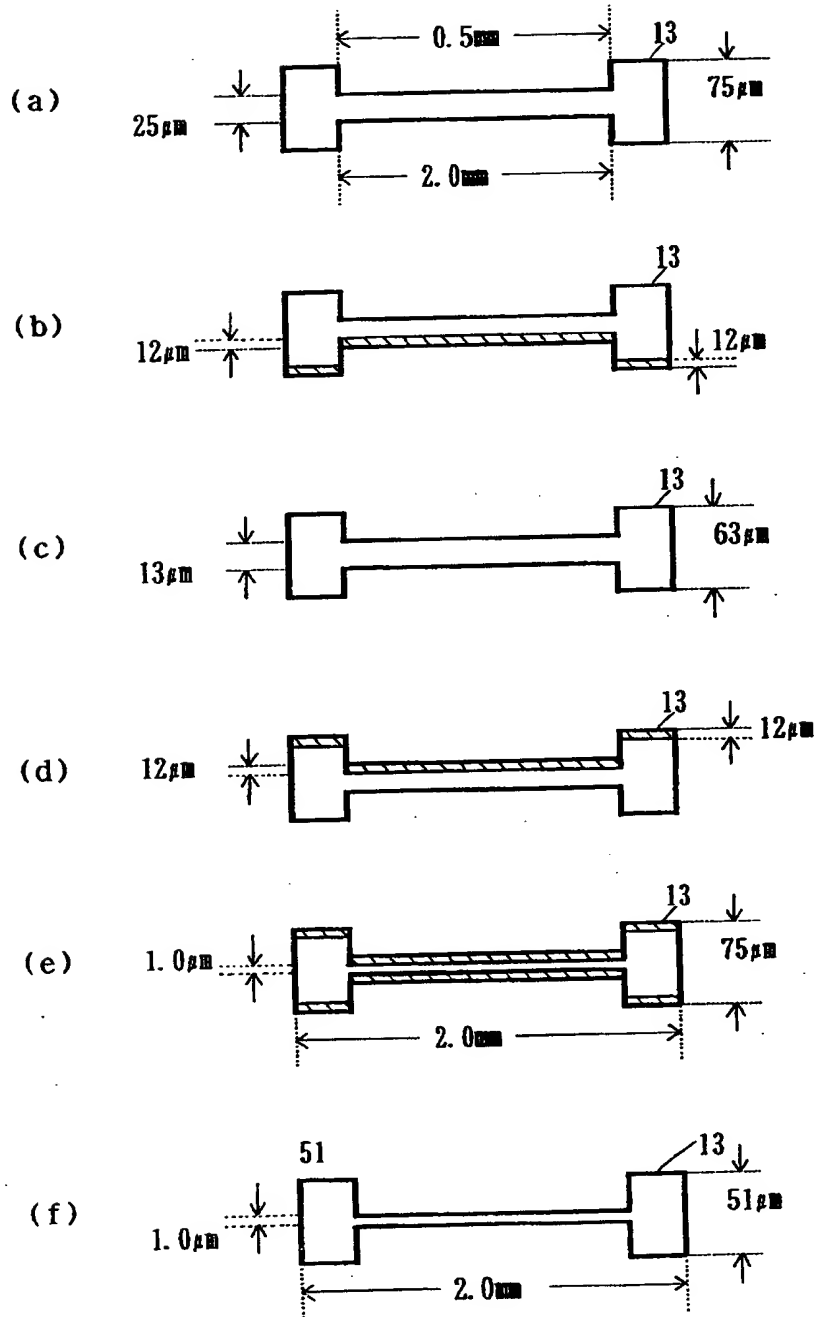


特平 1 1 - 3 2 4 4 9 2

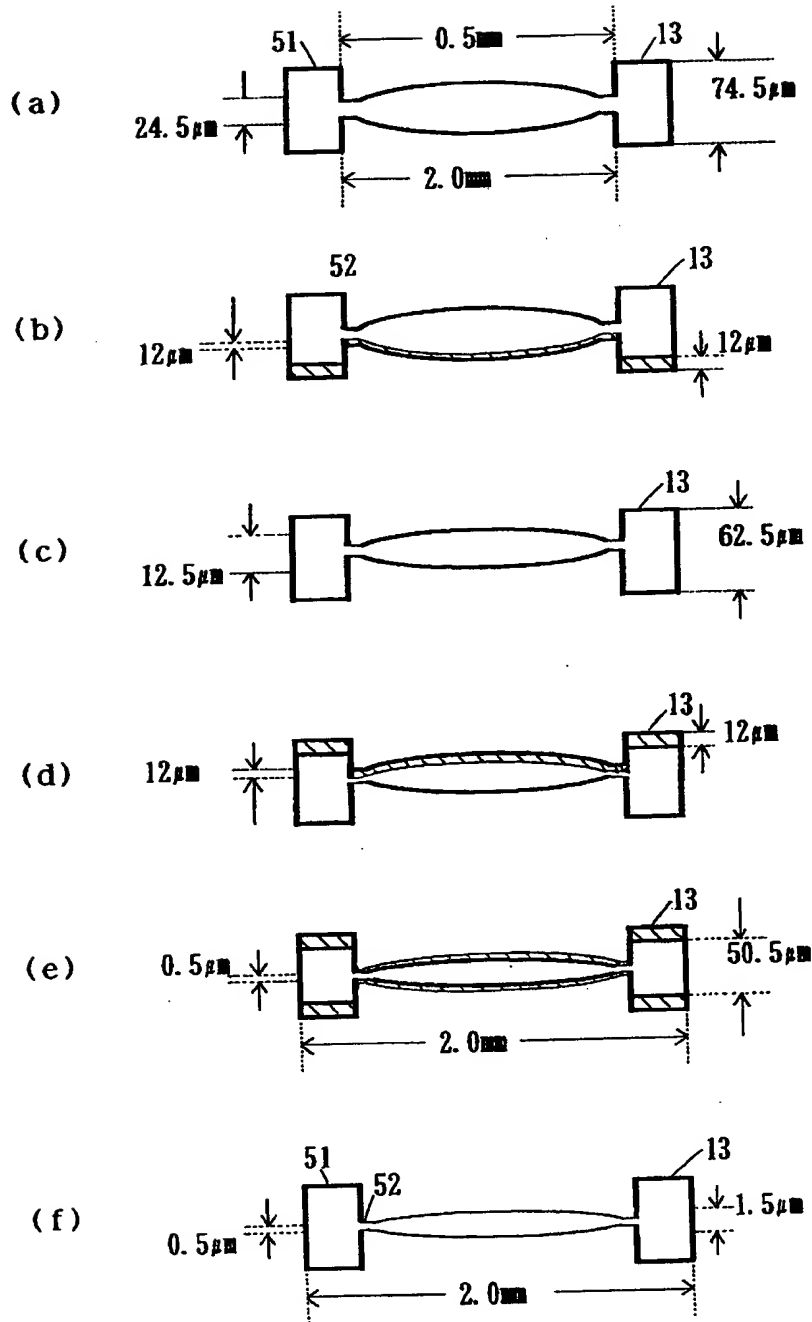
【図 5 0】



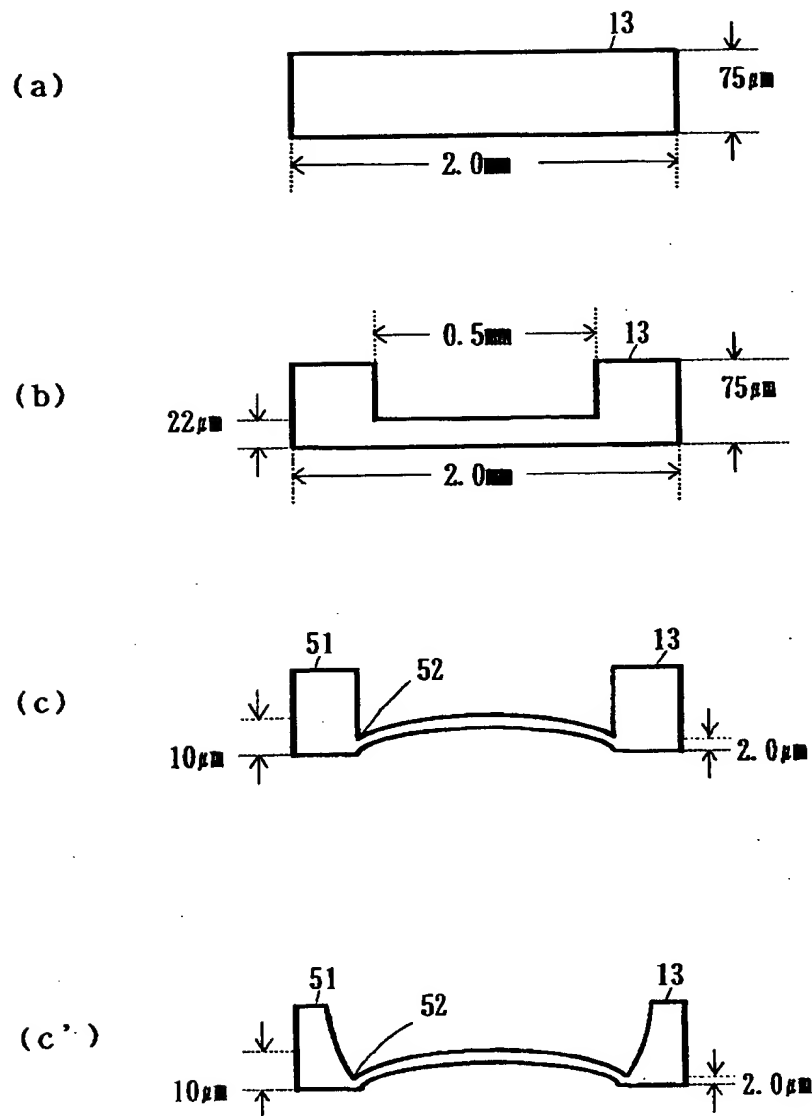
【図 5 1】



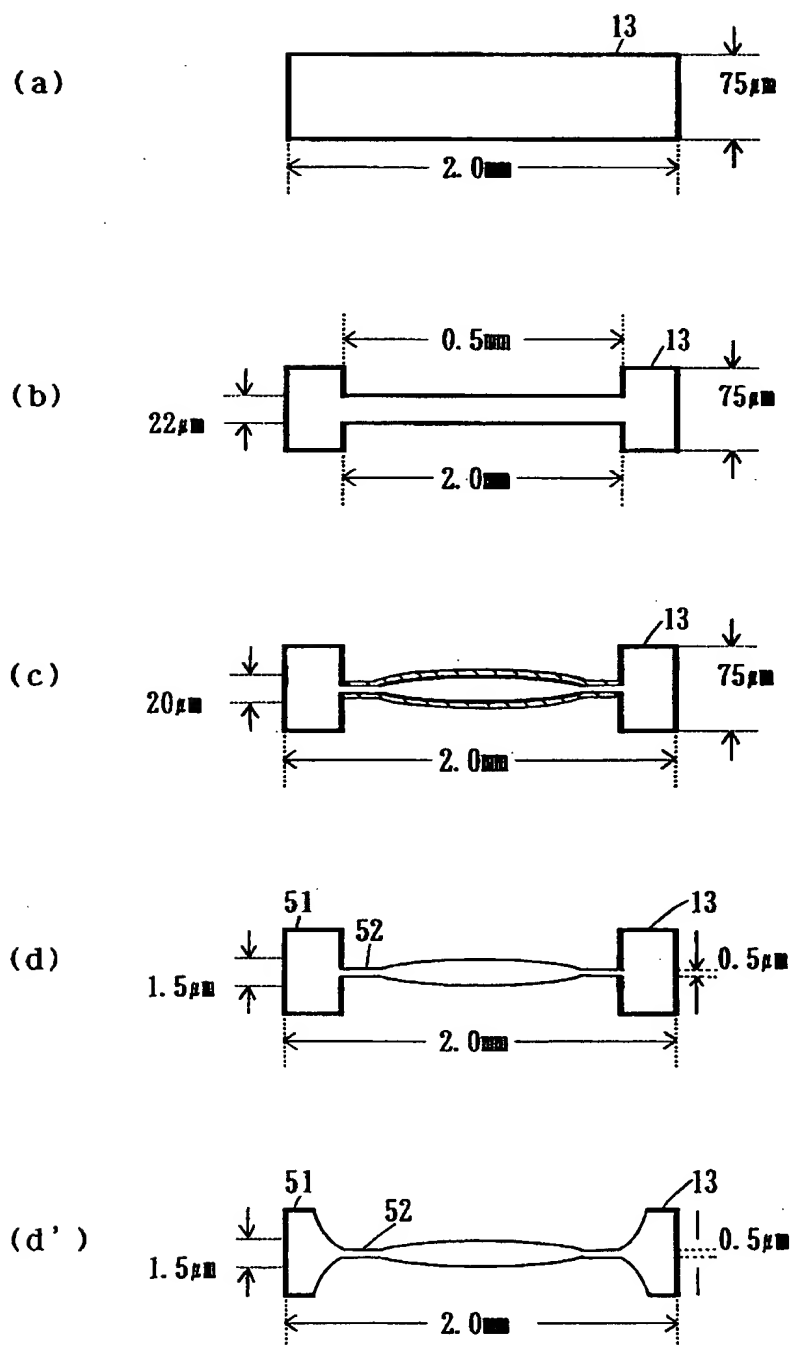
【图 5 2】



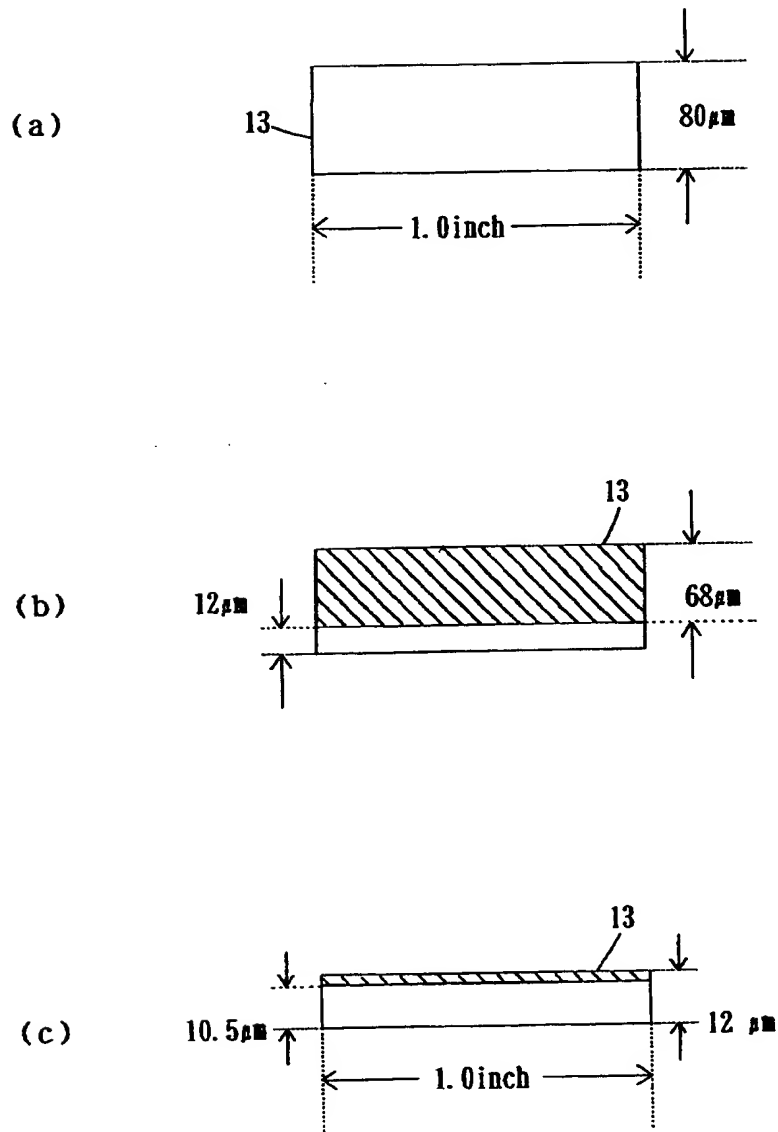
【図 5 3】



【图 5 4】

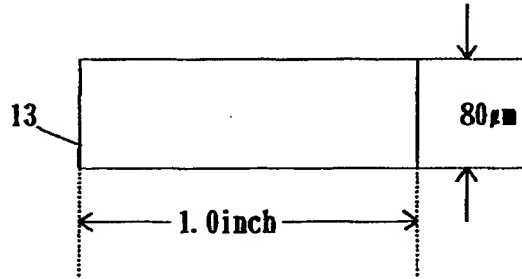


【図 5 5】

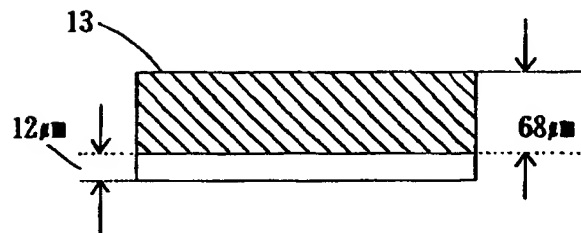


【图 5 6】

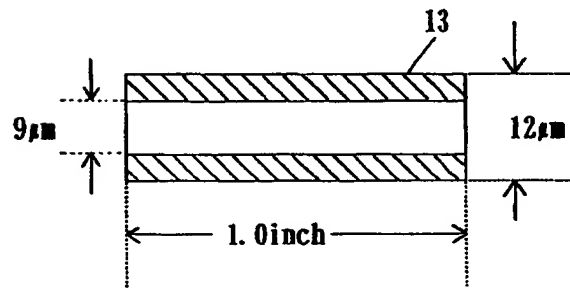
(a)



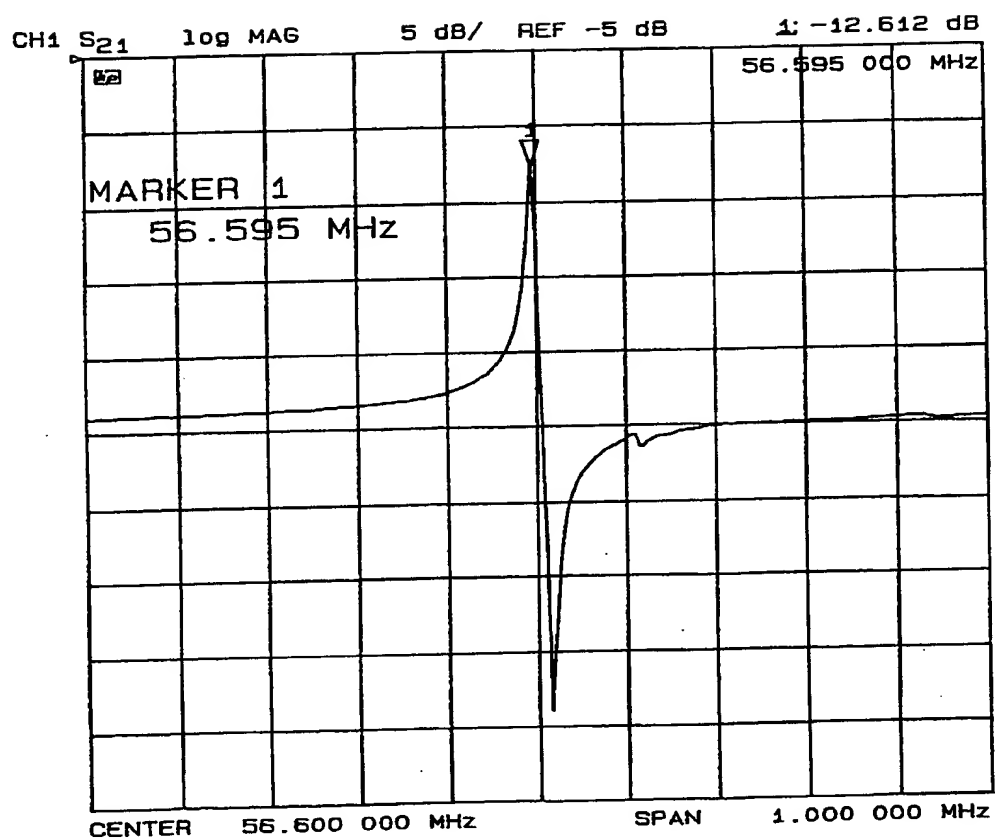
(b)



(c)

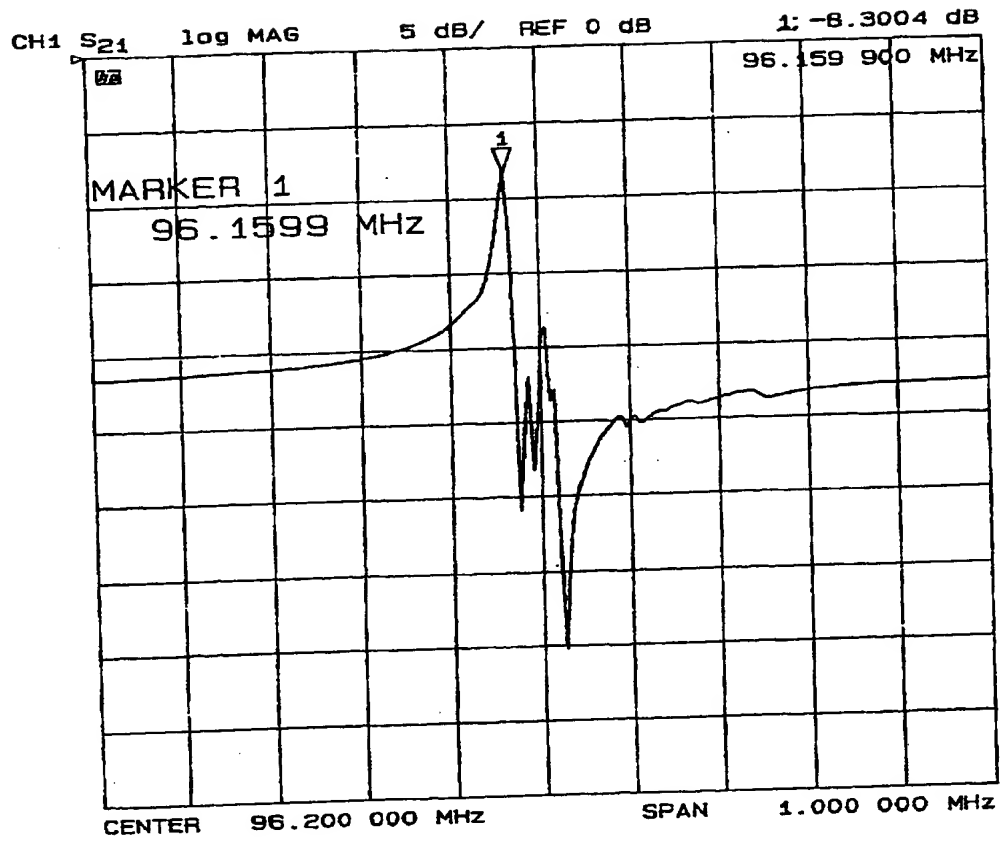


【図 5 7】

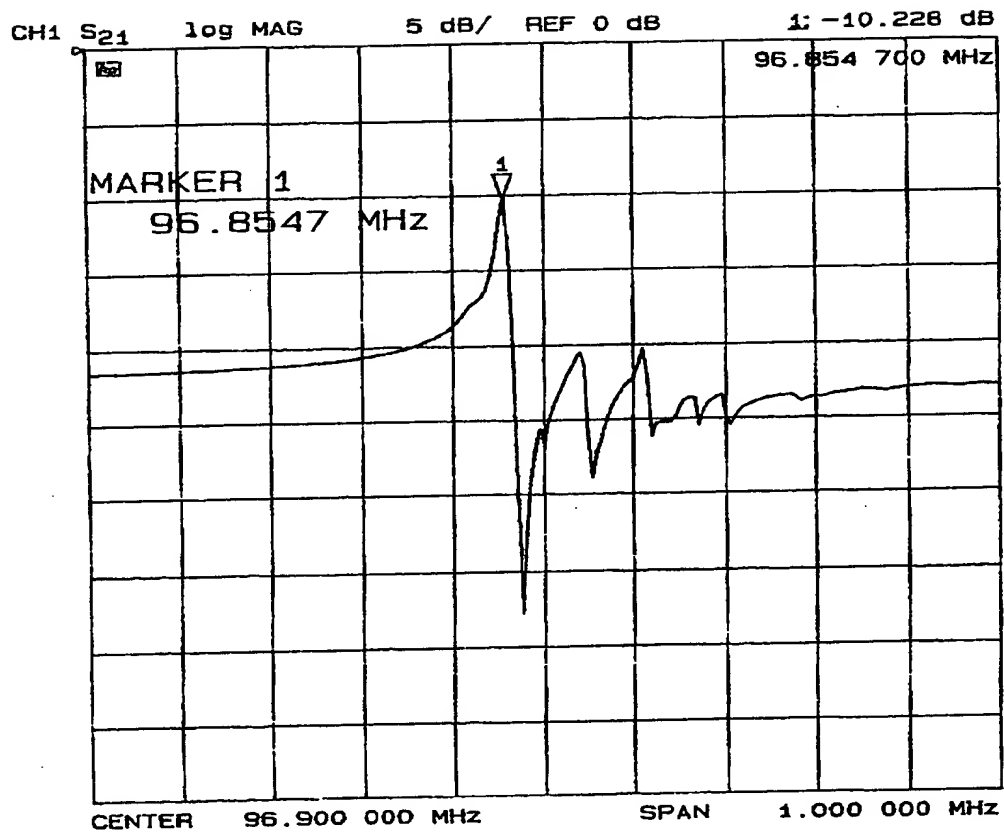


特平 11-324492

【图 58】

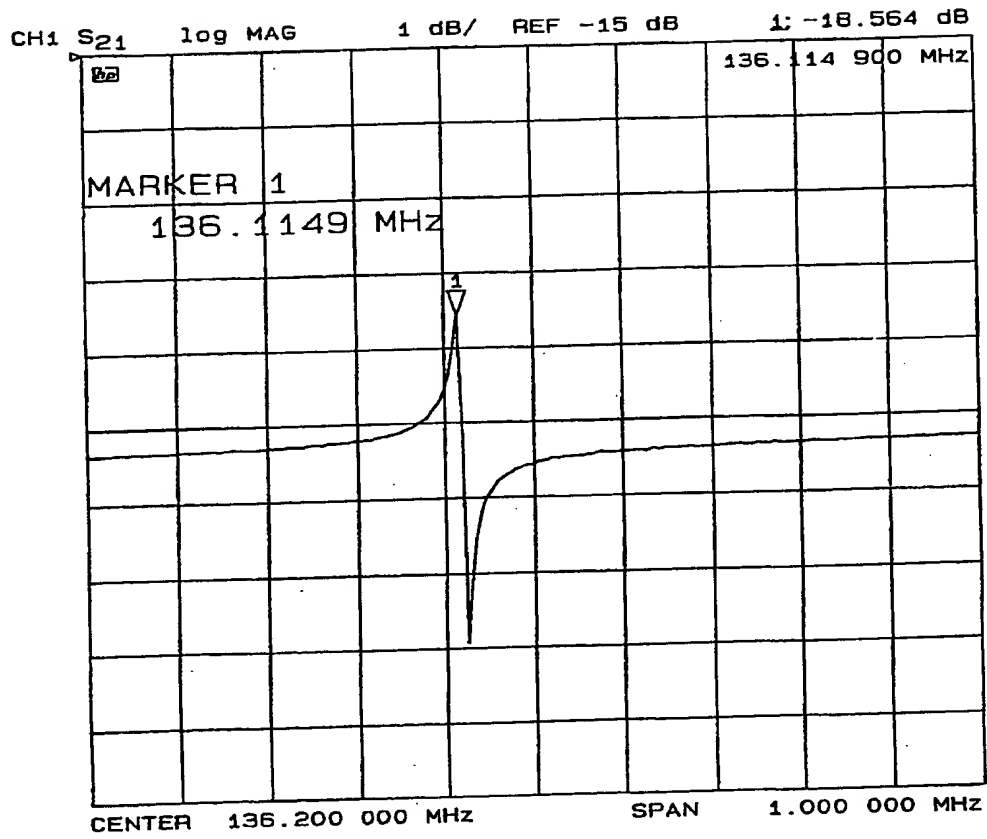


【図 59】

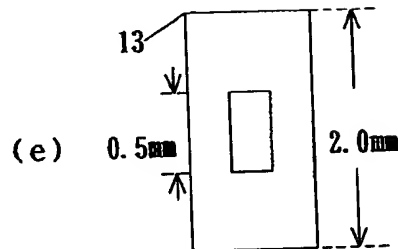
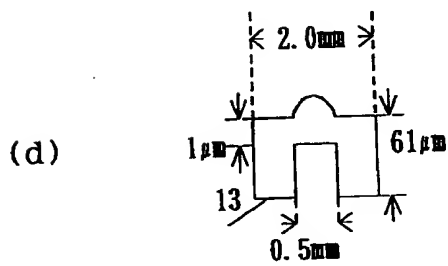
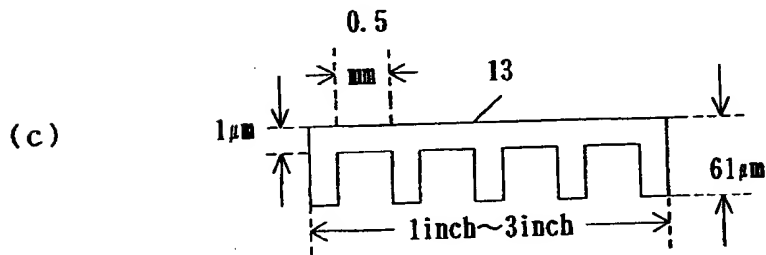
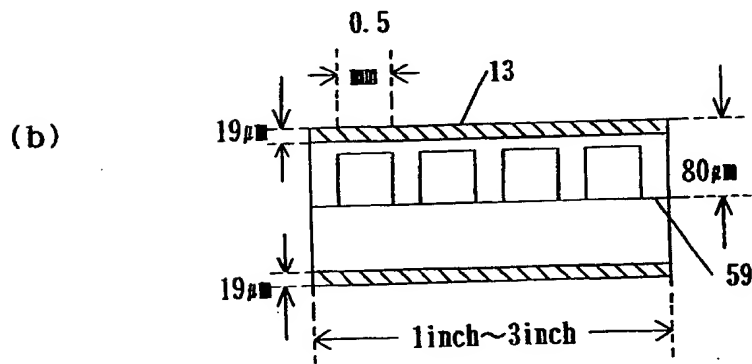
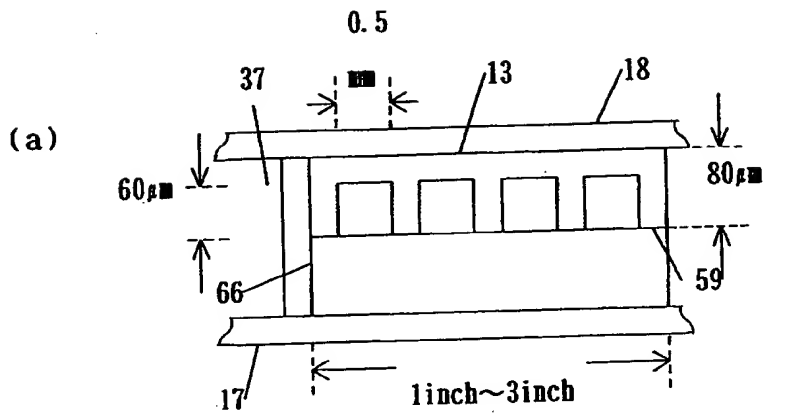


特平 1 1 - 3 2 4 4 9 2

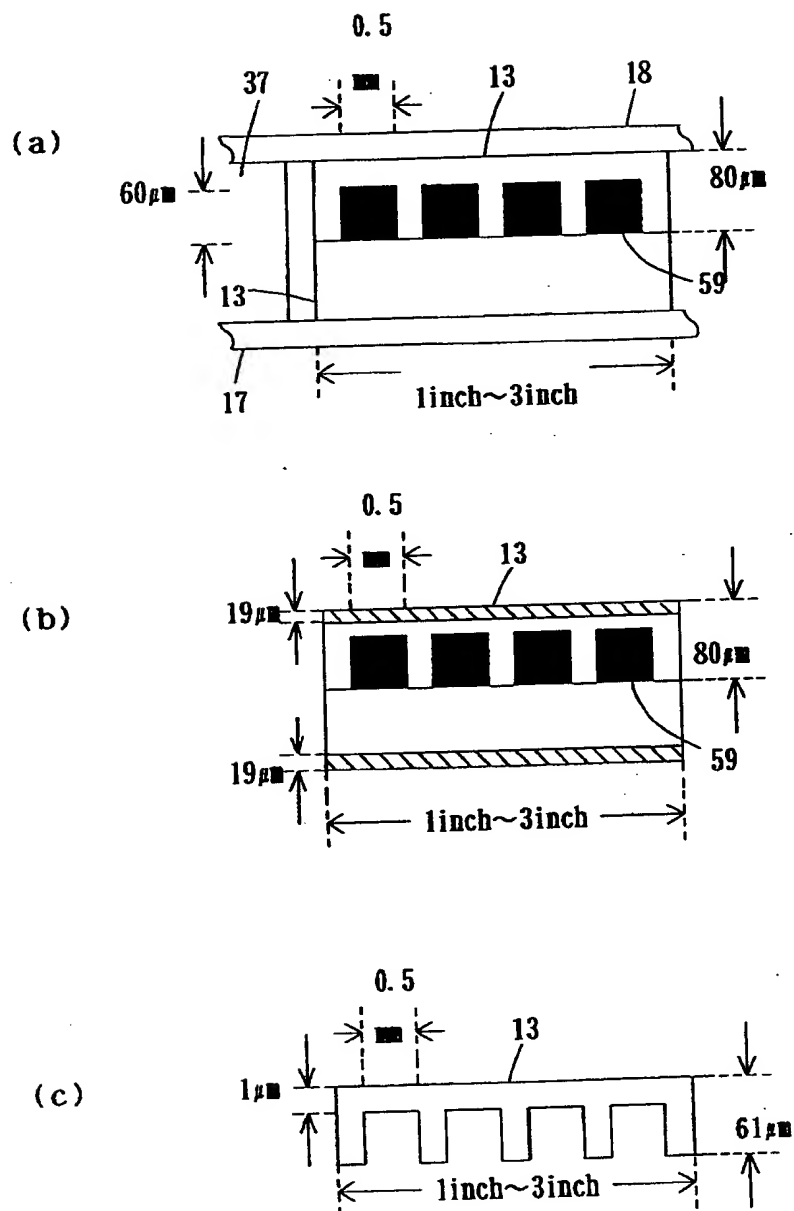
【図 6 0】



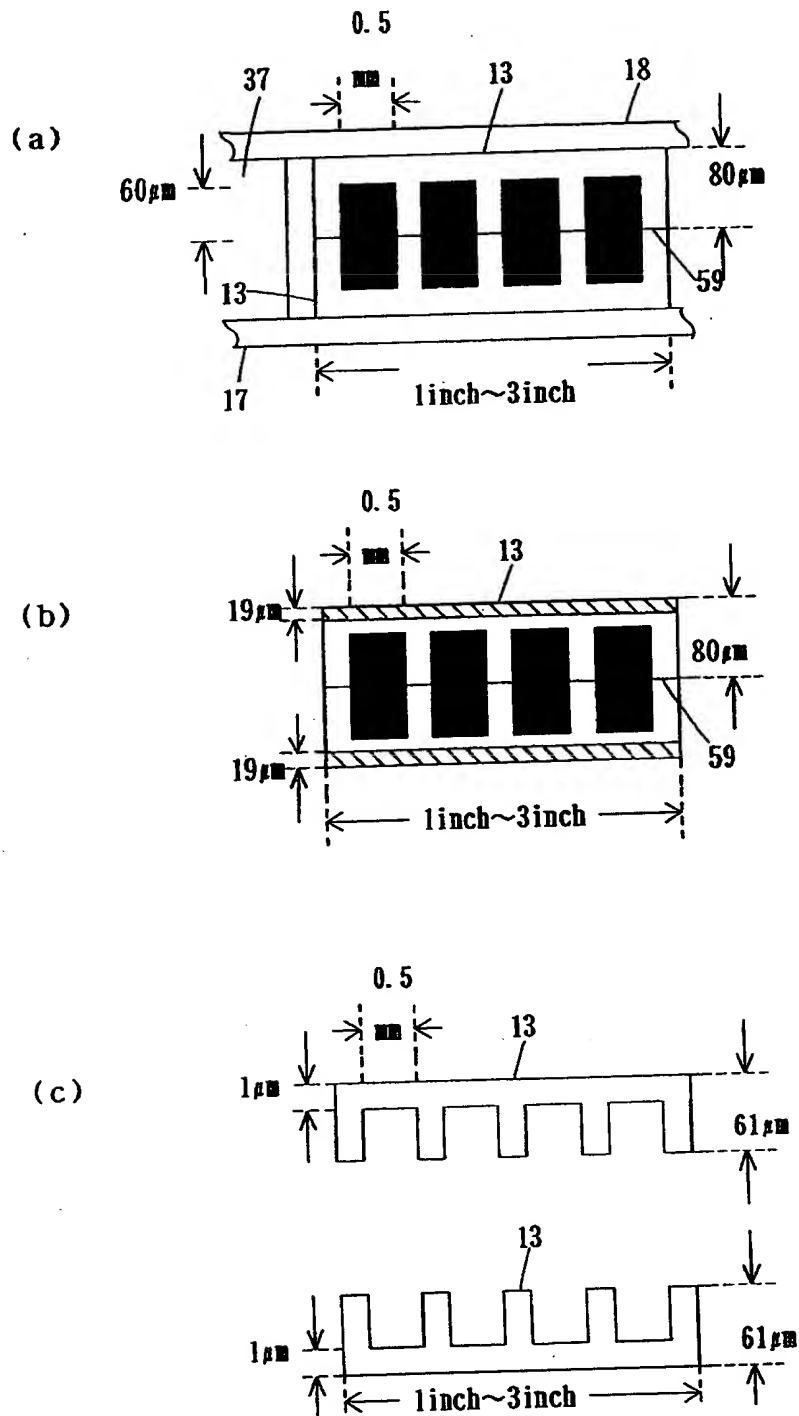
【図 6 1】



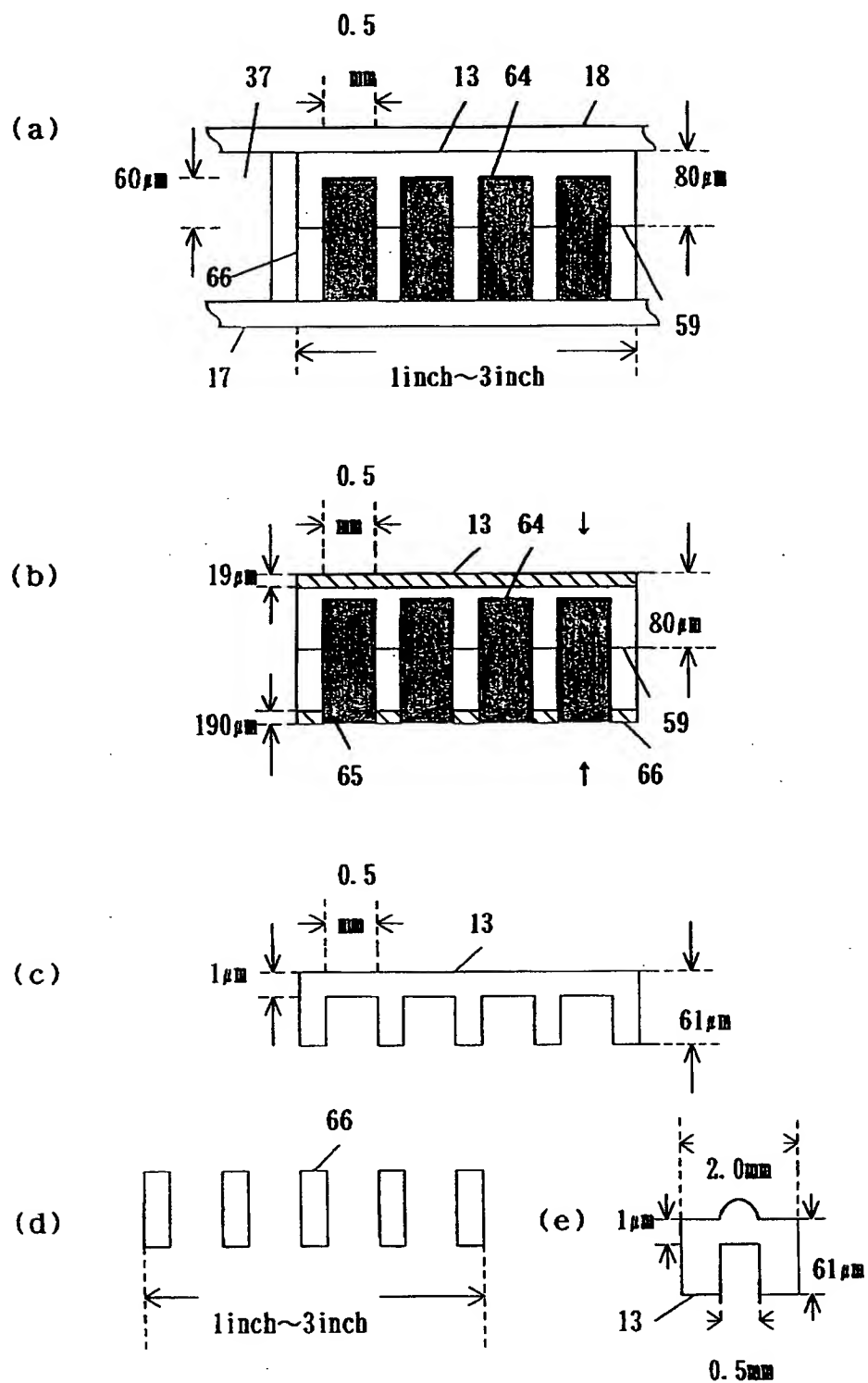
【图 6 2】



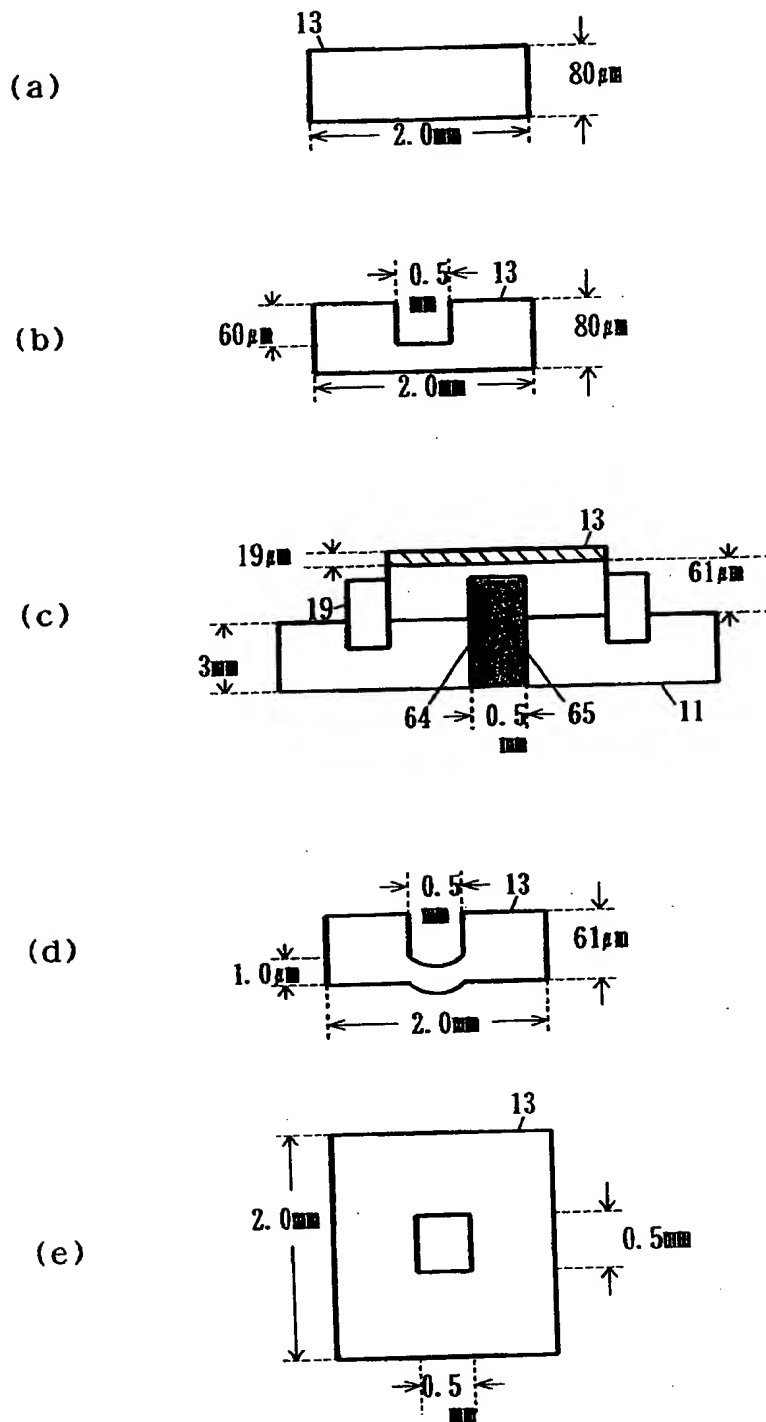
【図 6 3】



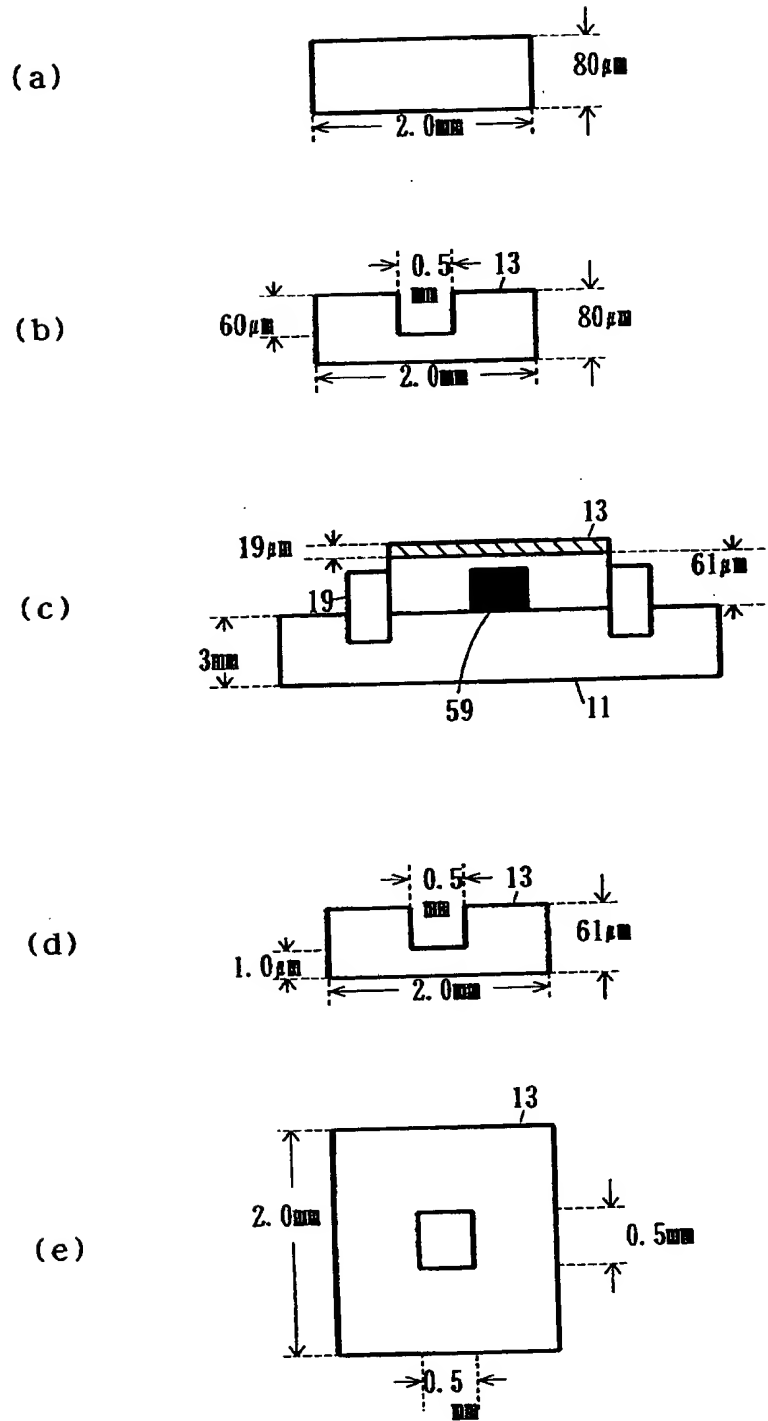
【图 6 4】



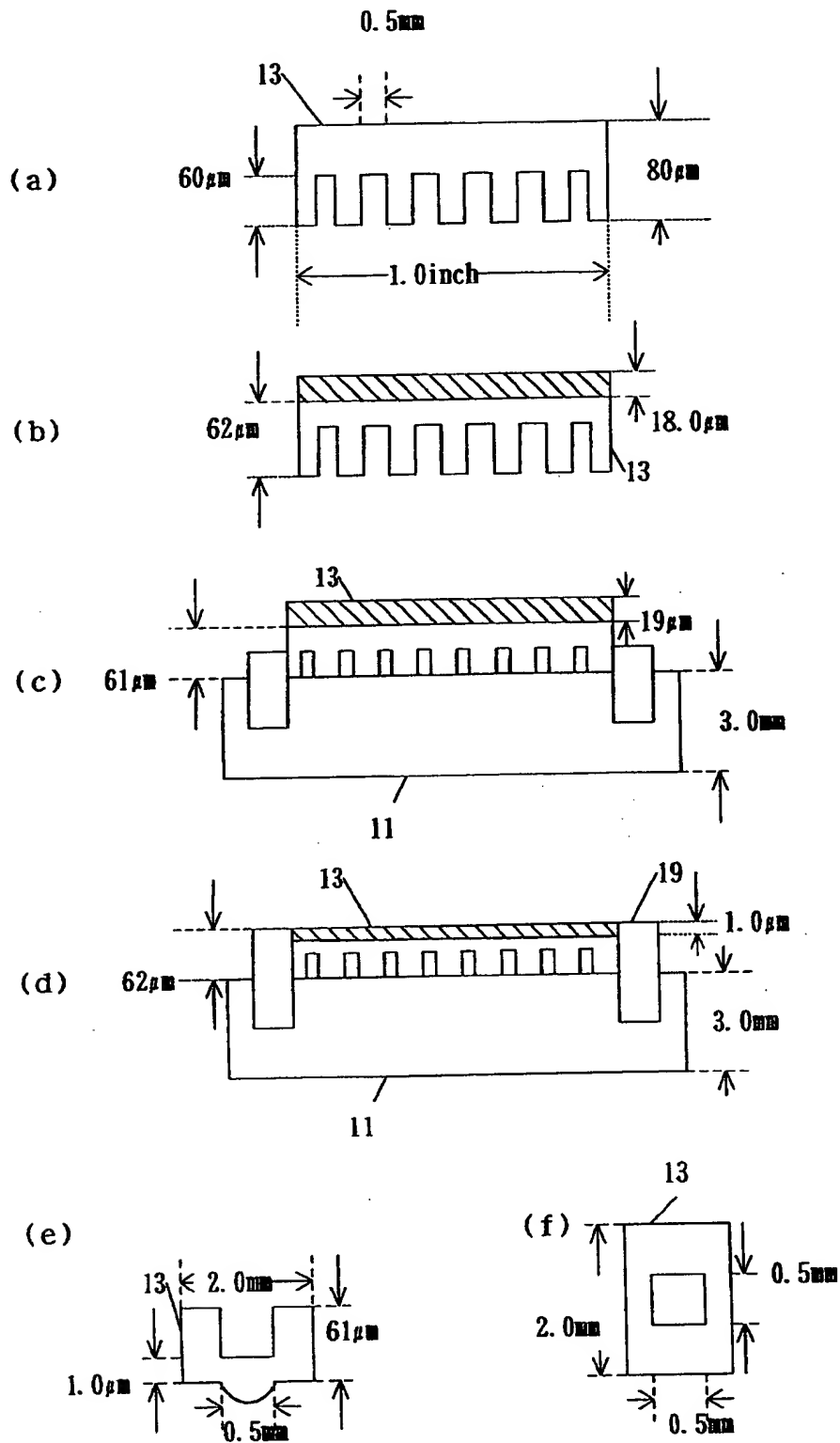
【図 65】



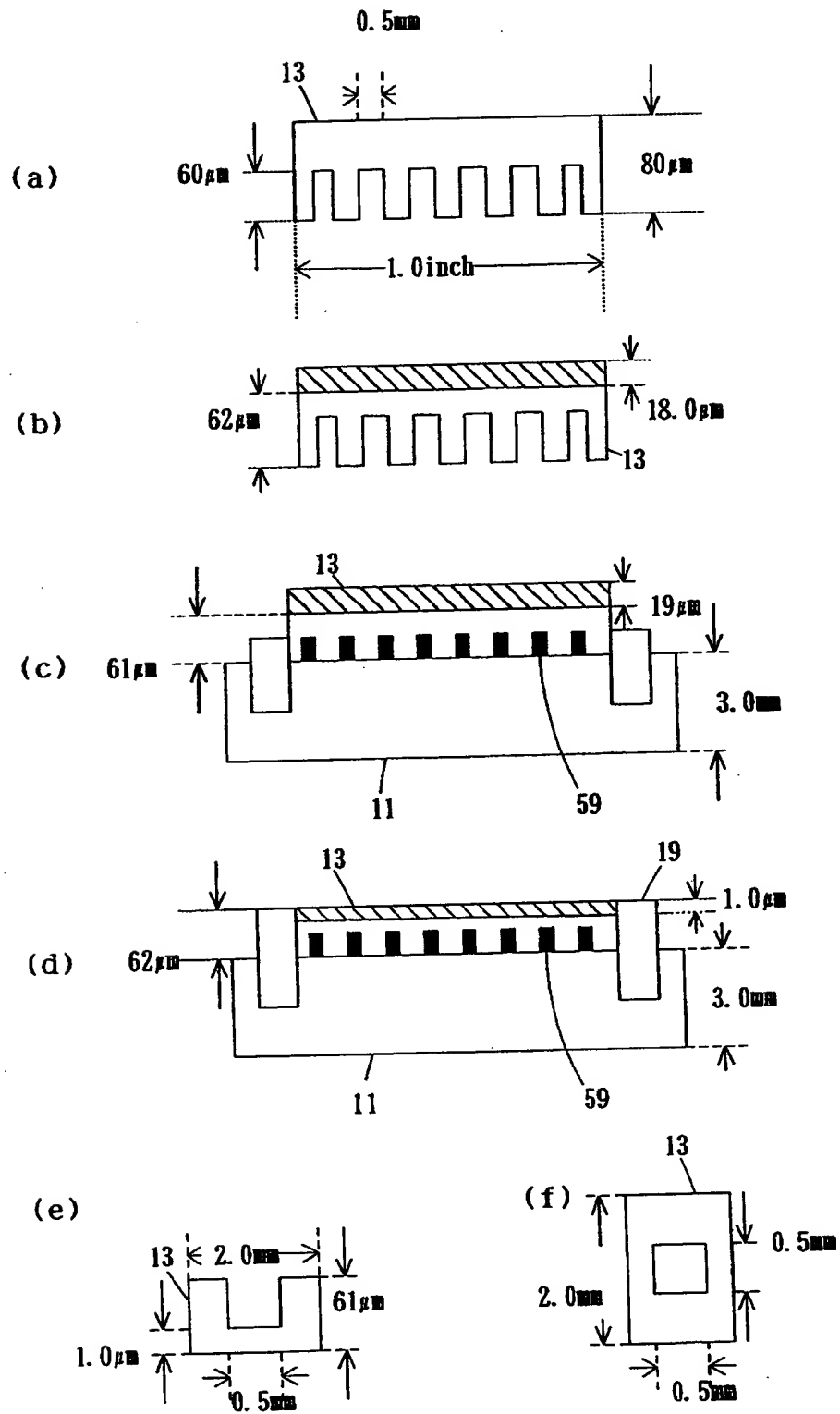
【图 6 6】



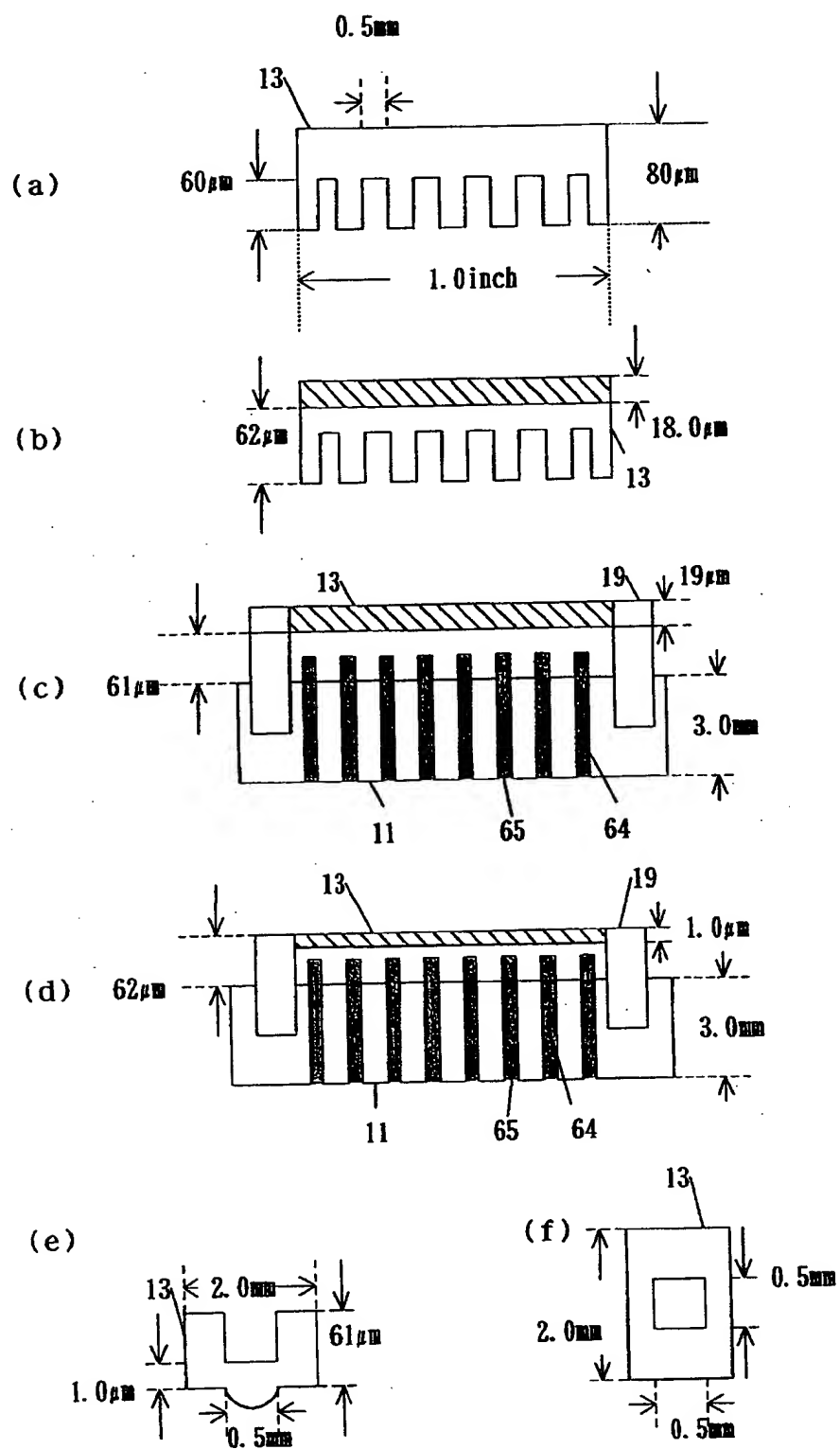
【図 6 7】



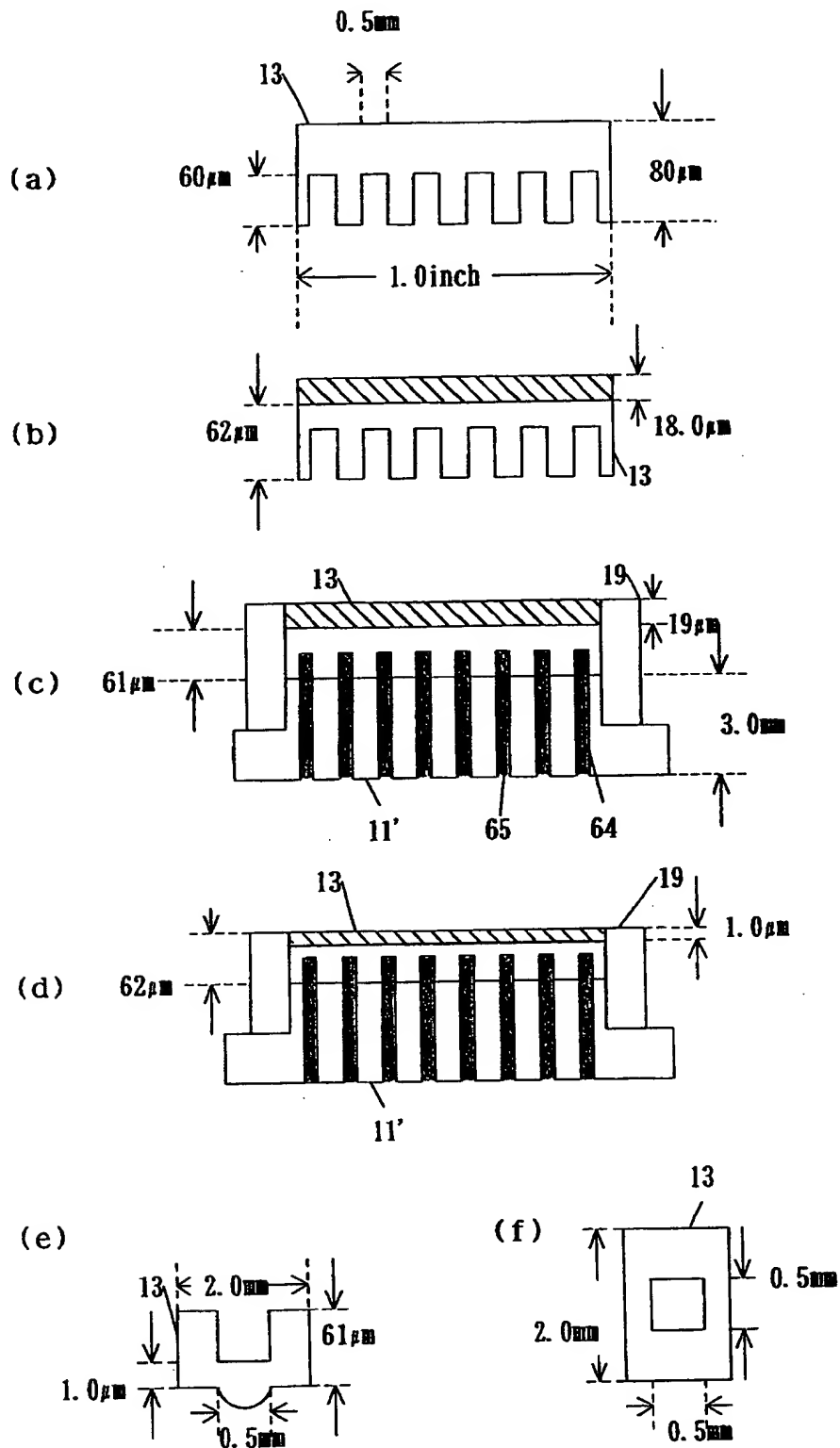
【图 6 8】



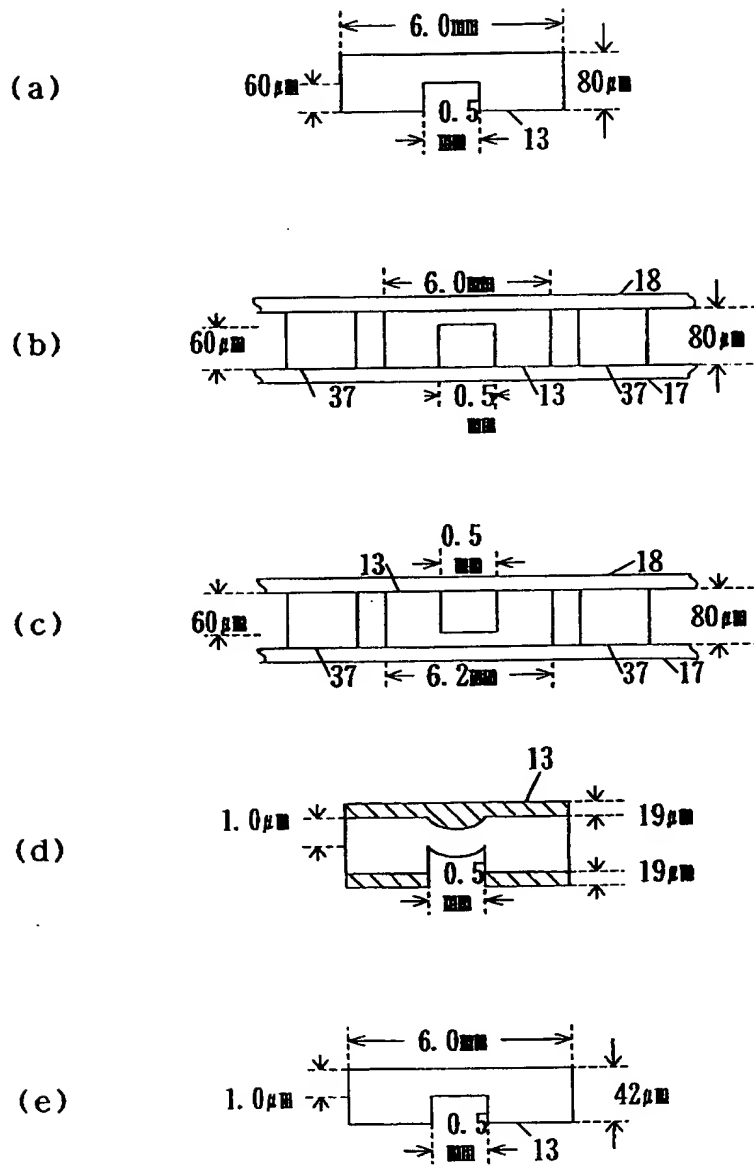
【図 6 9】



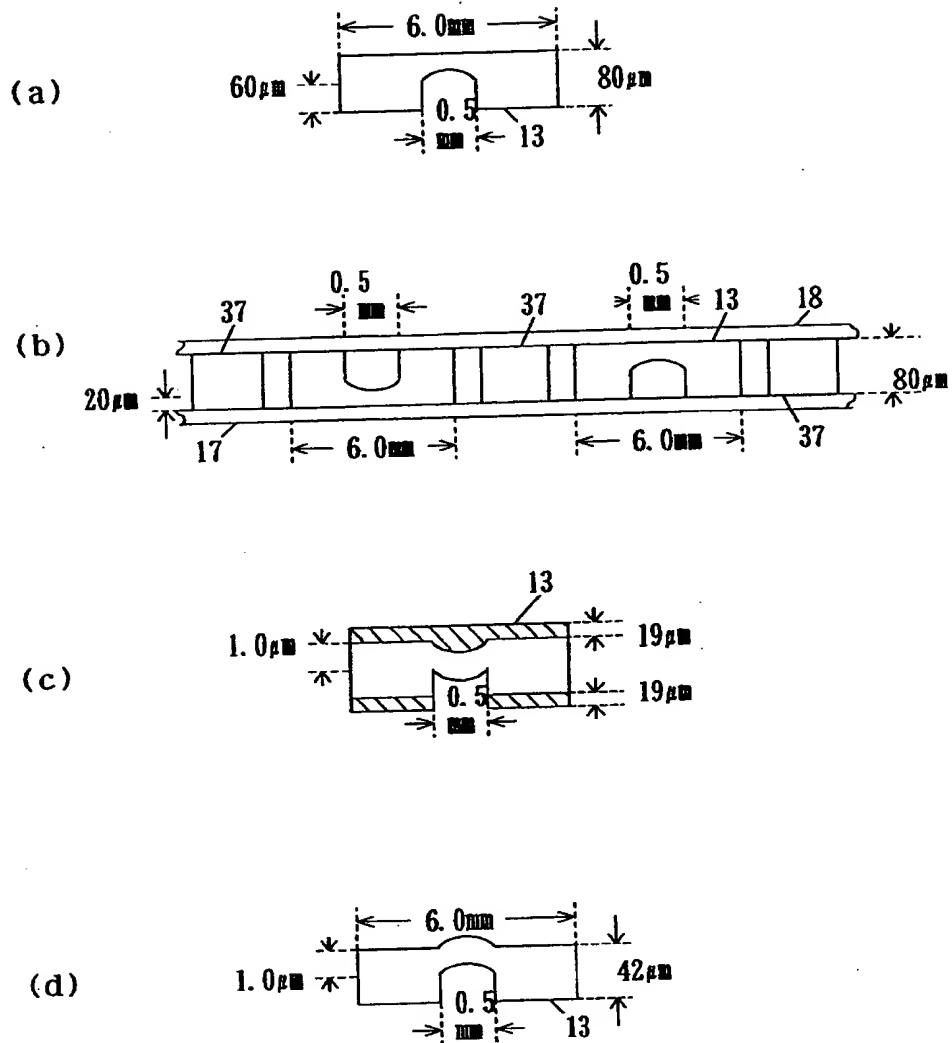
【図 7 0】



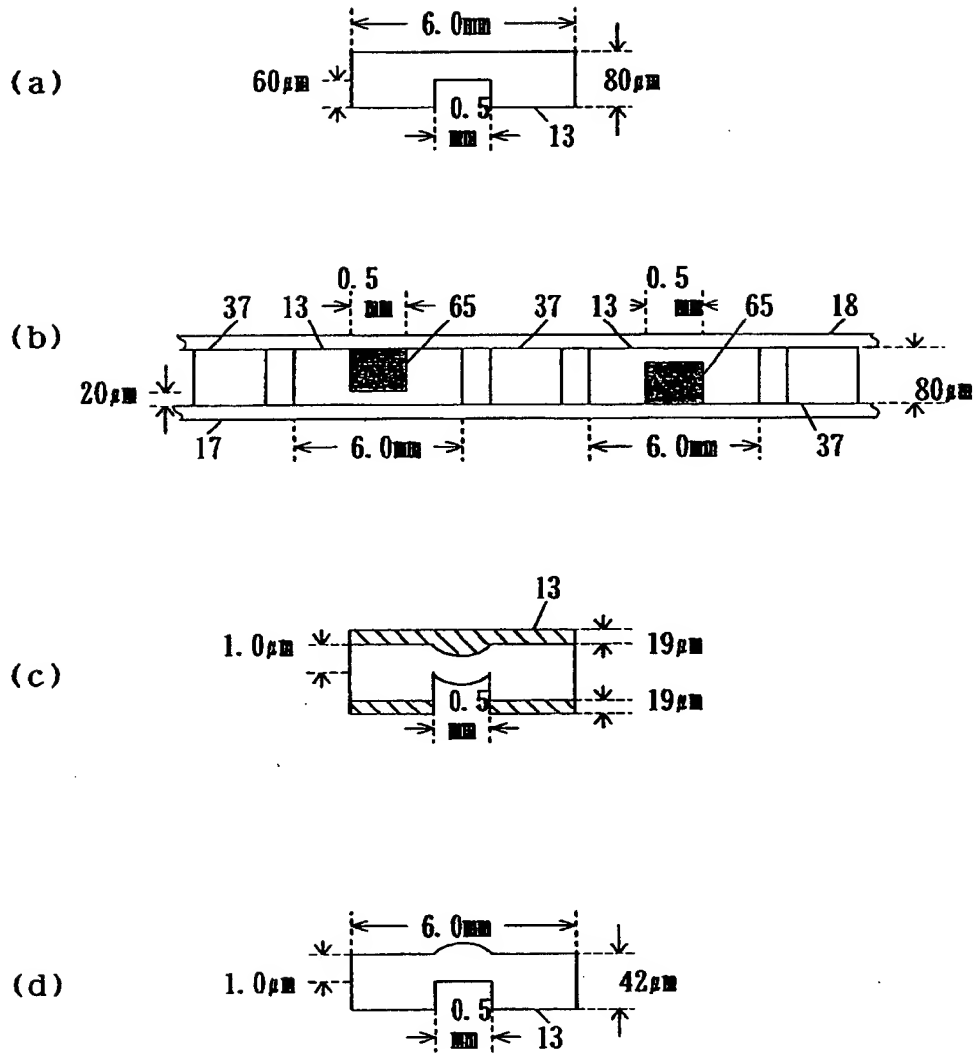
【図 7 1】



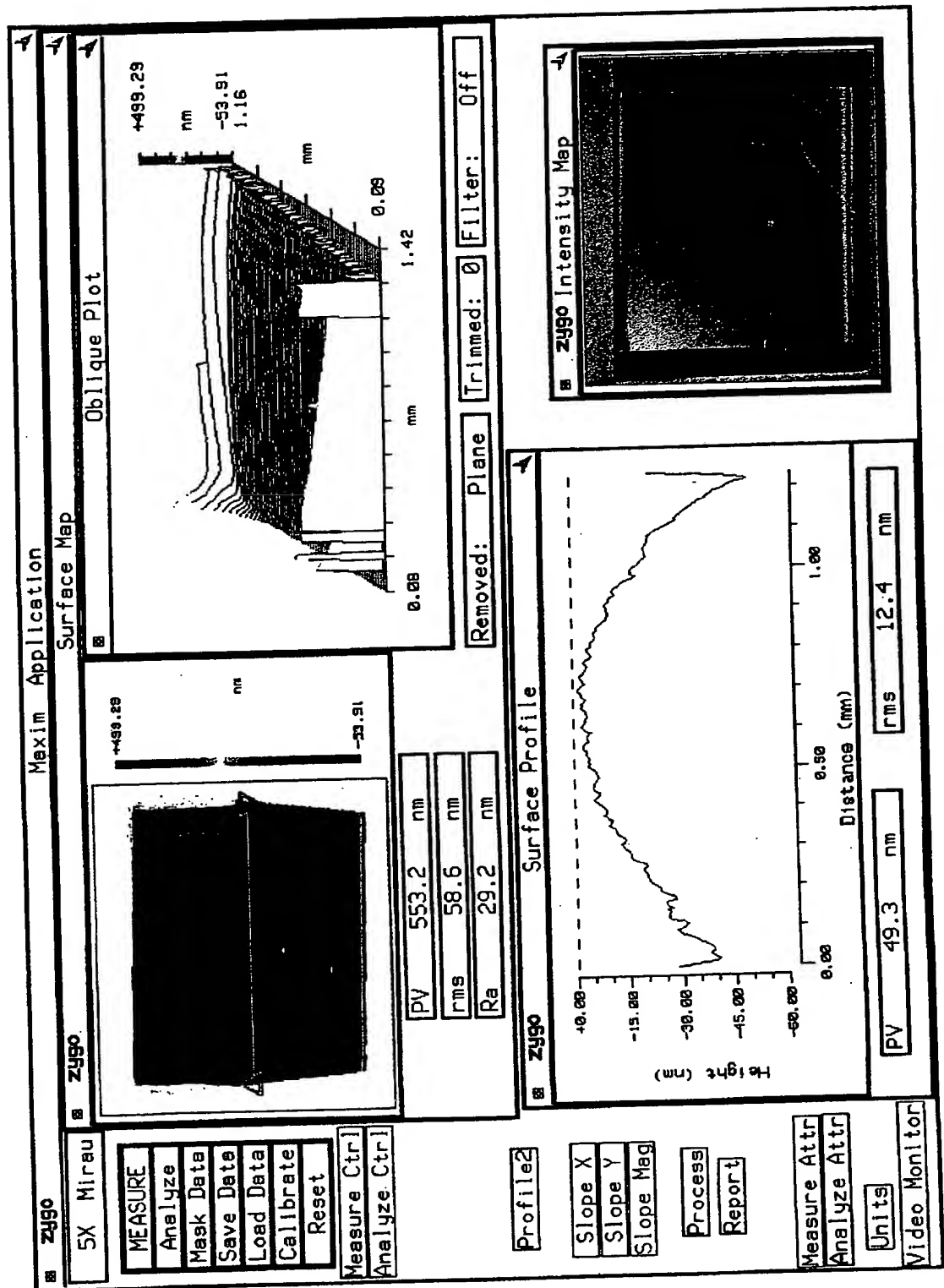
【图 7 3】



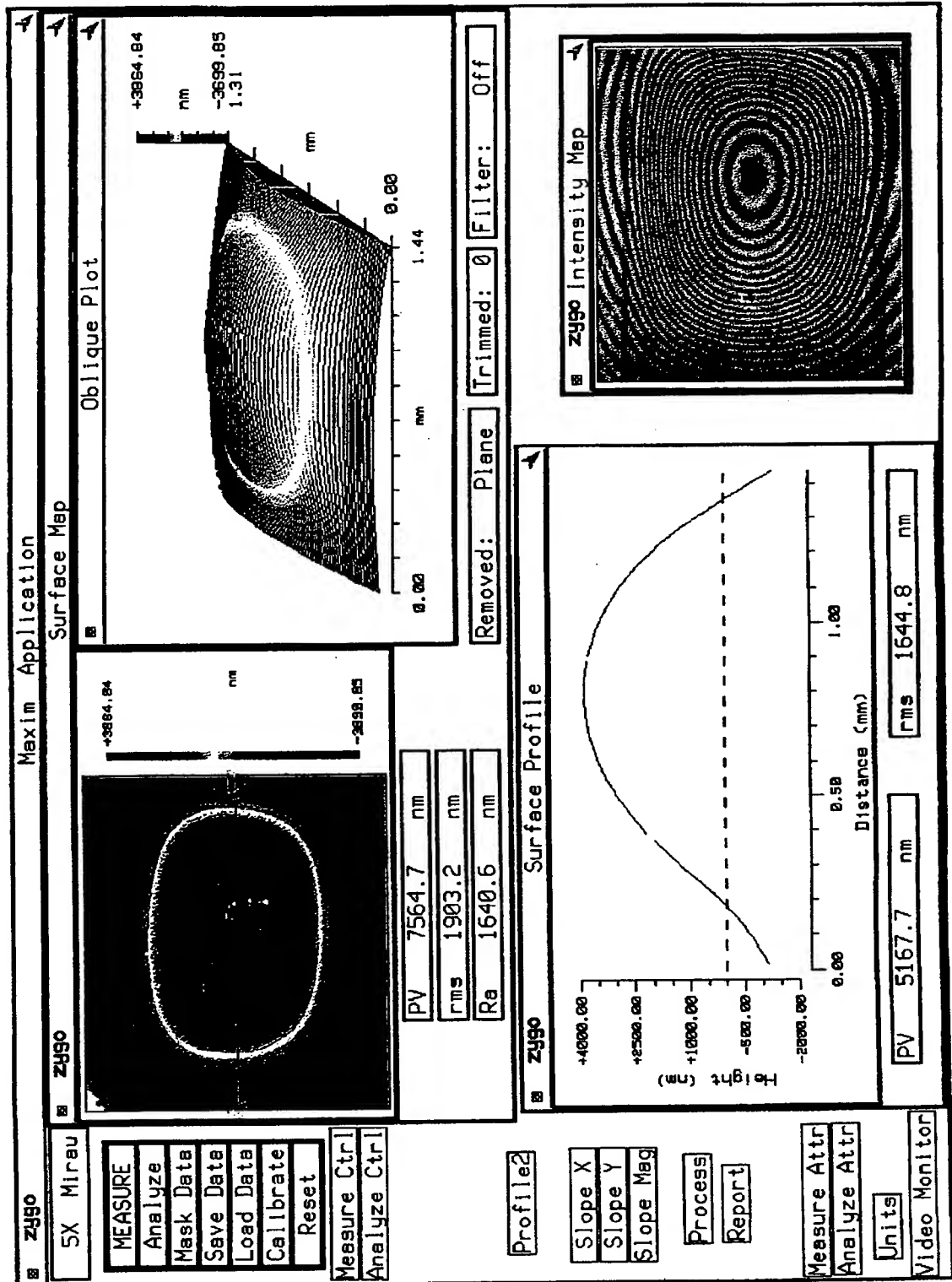
【图 7 4】



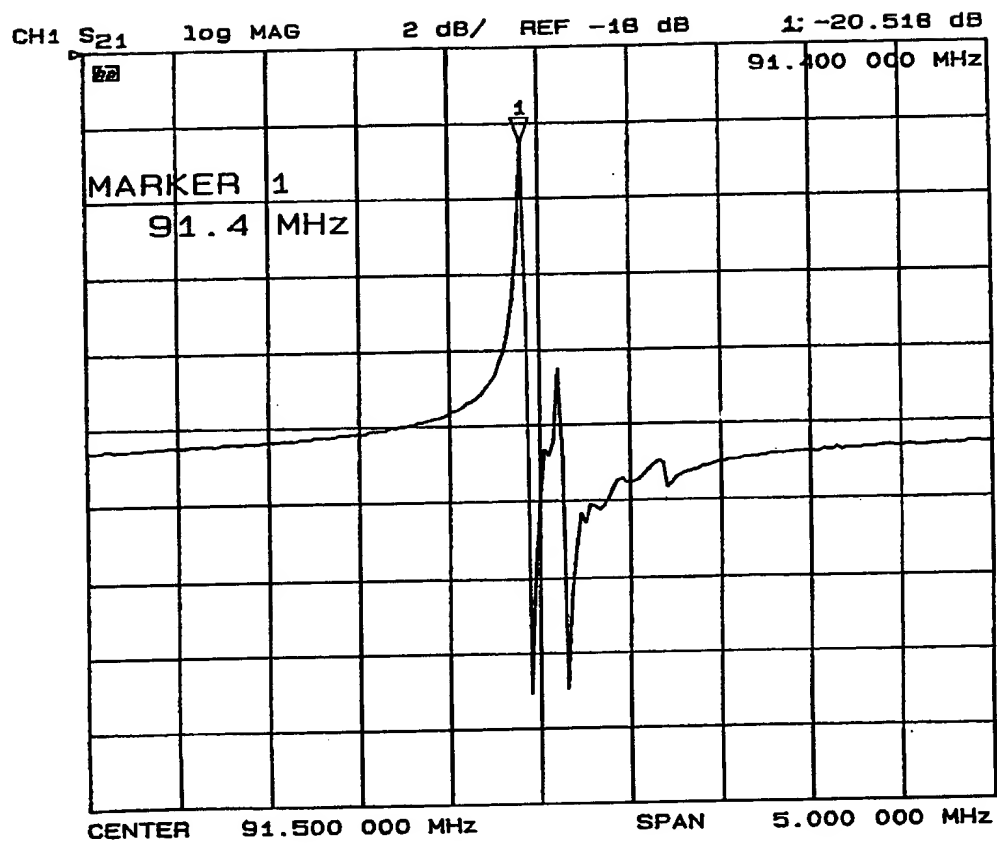
【図 7 5】



【图 7 6】

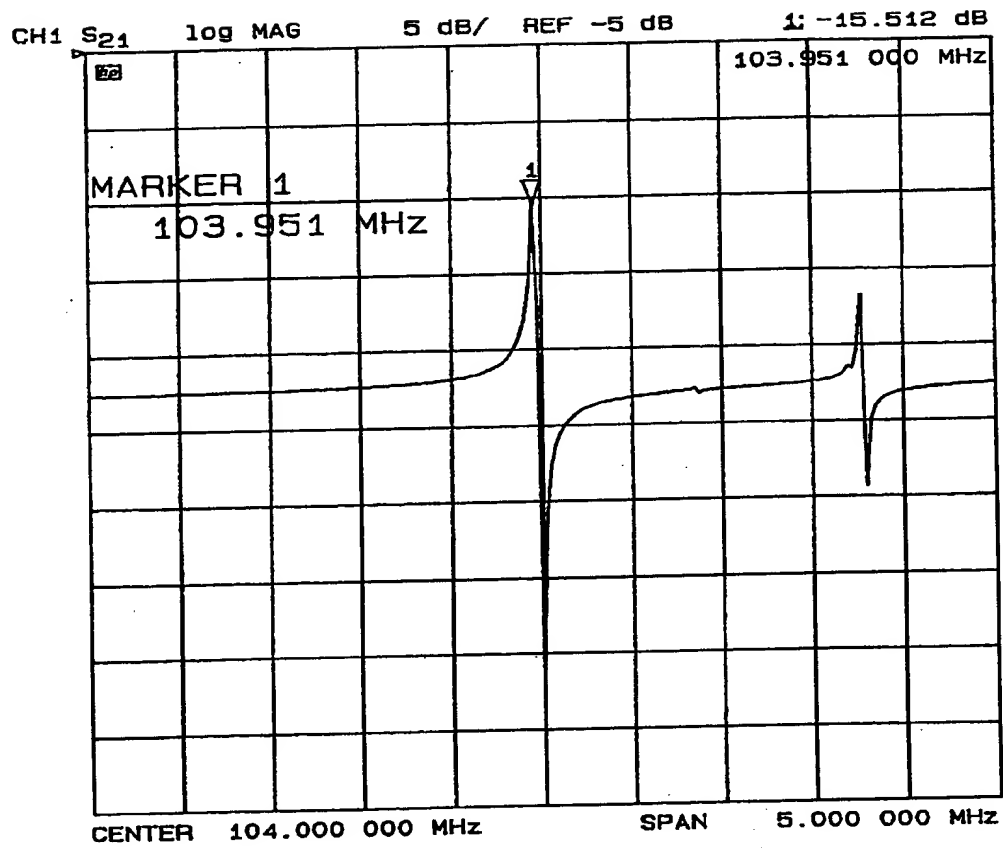


【図 7 7】

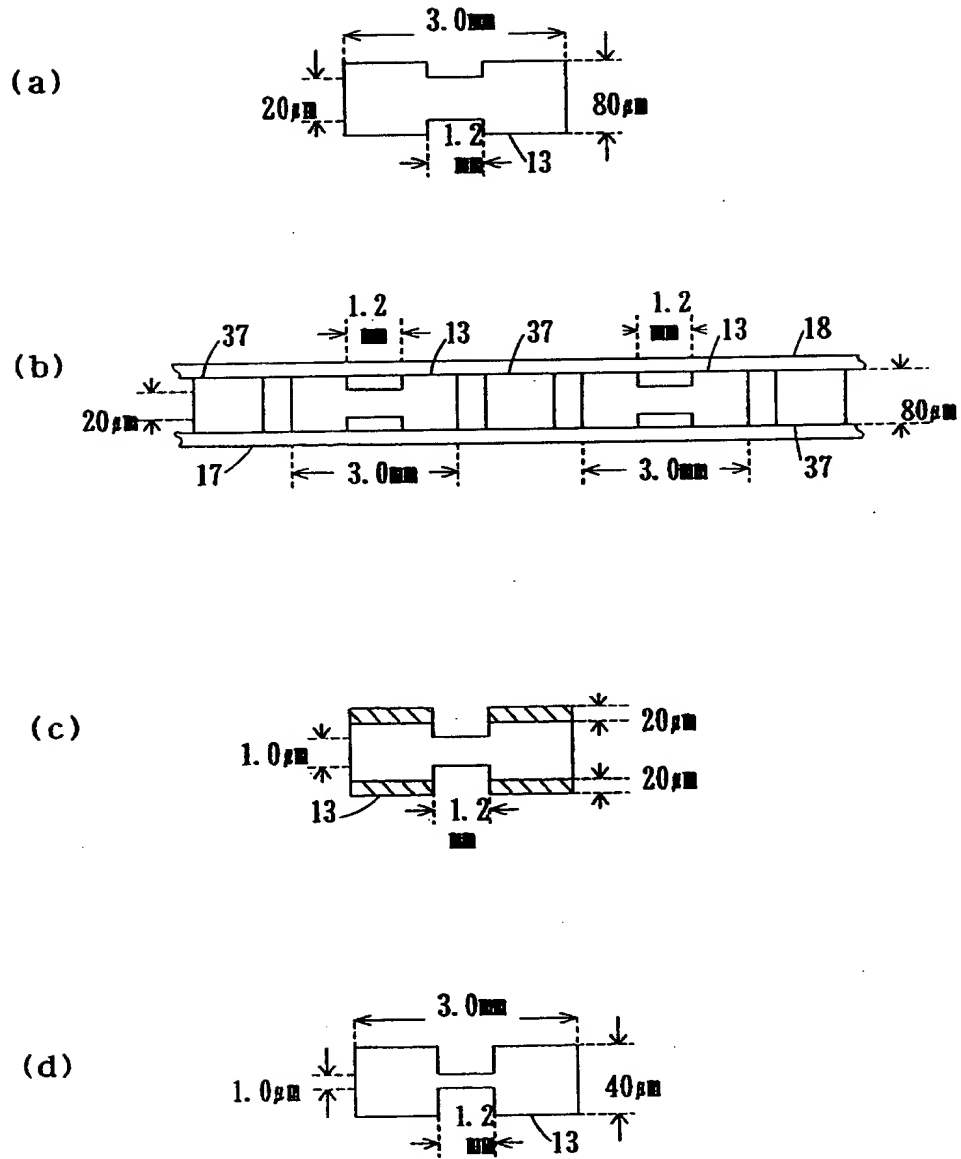


特平 1 1 - 3 2 4 4 9 2

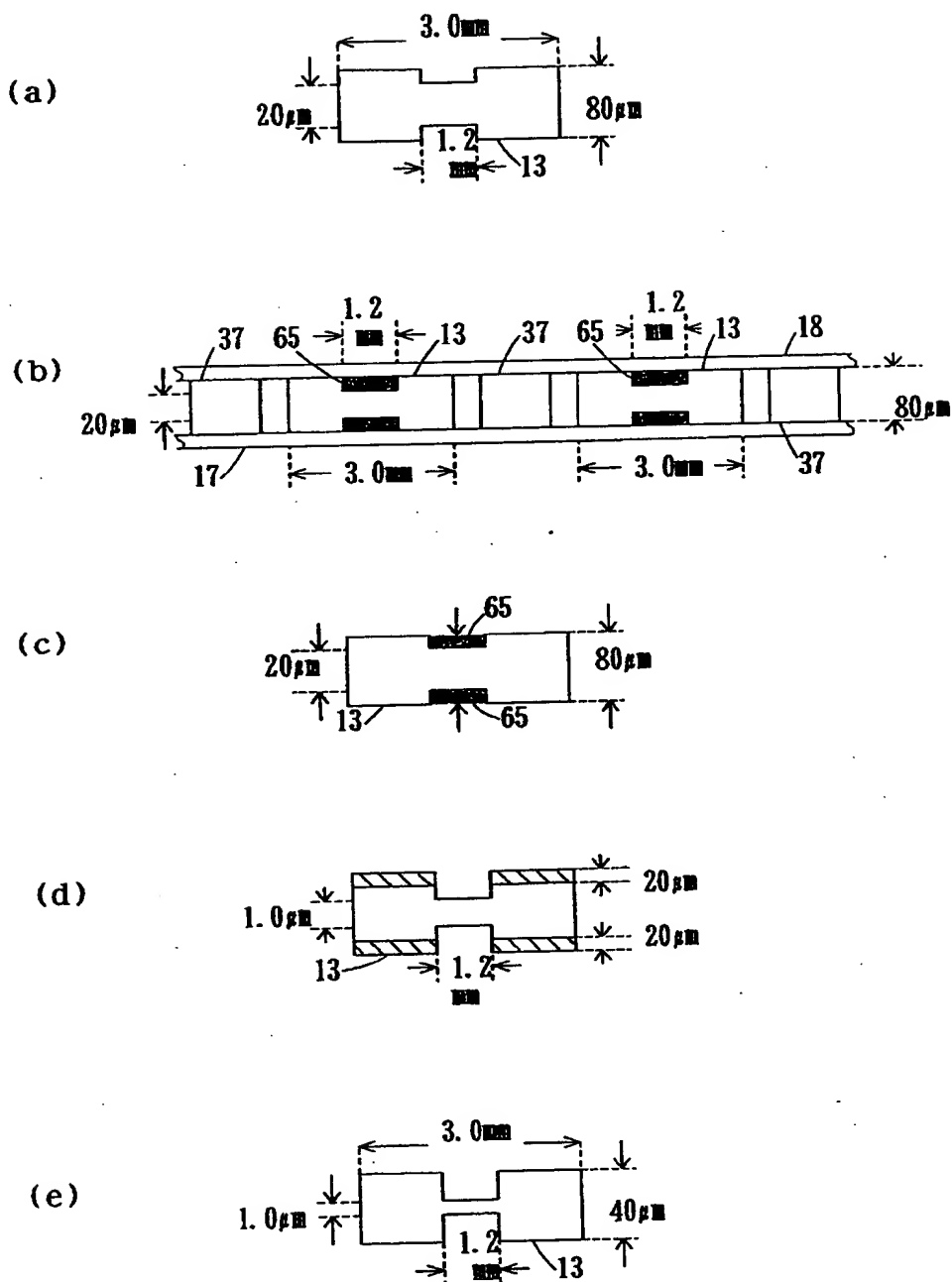
【图 7 8】



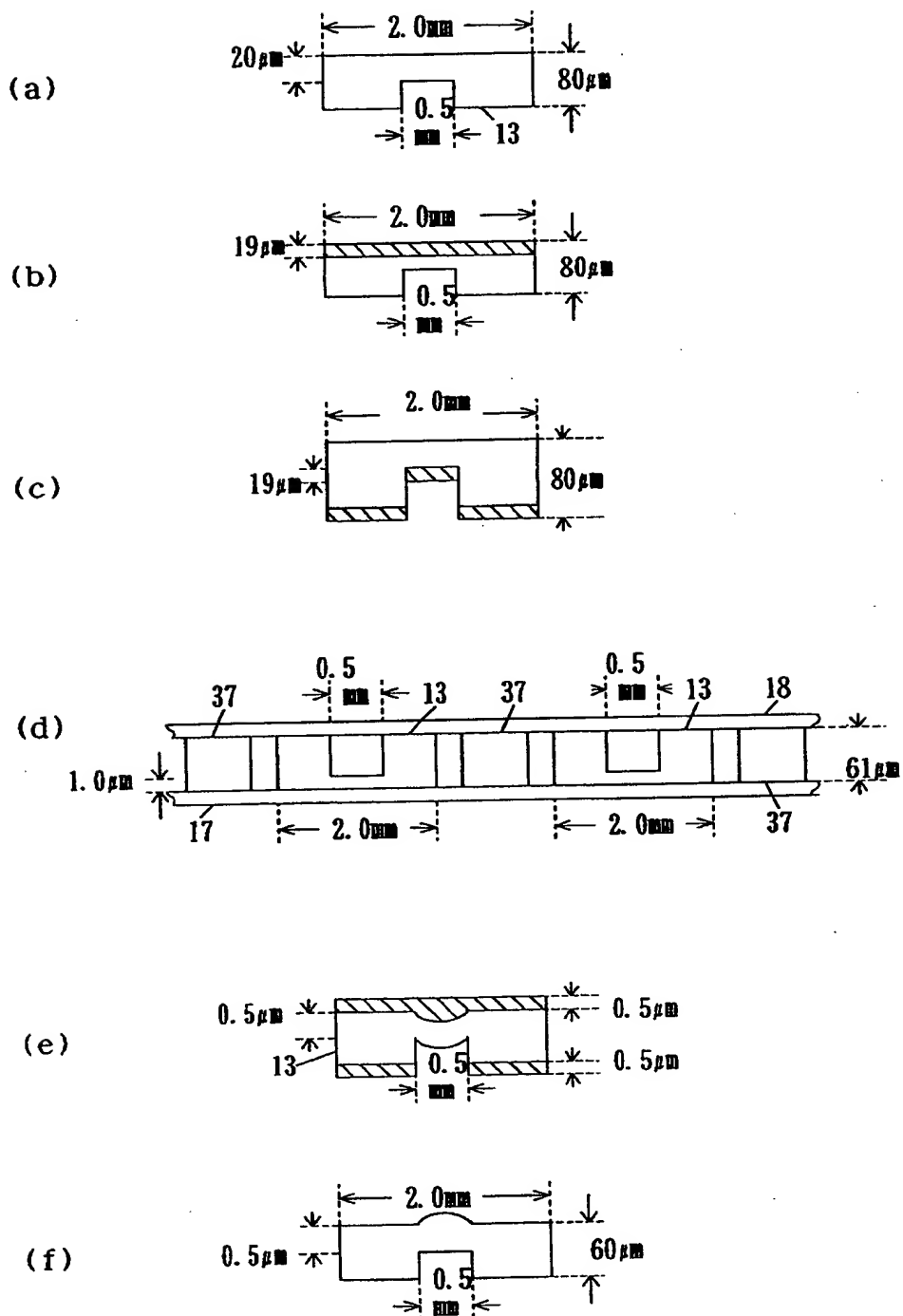
【図 79】



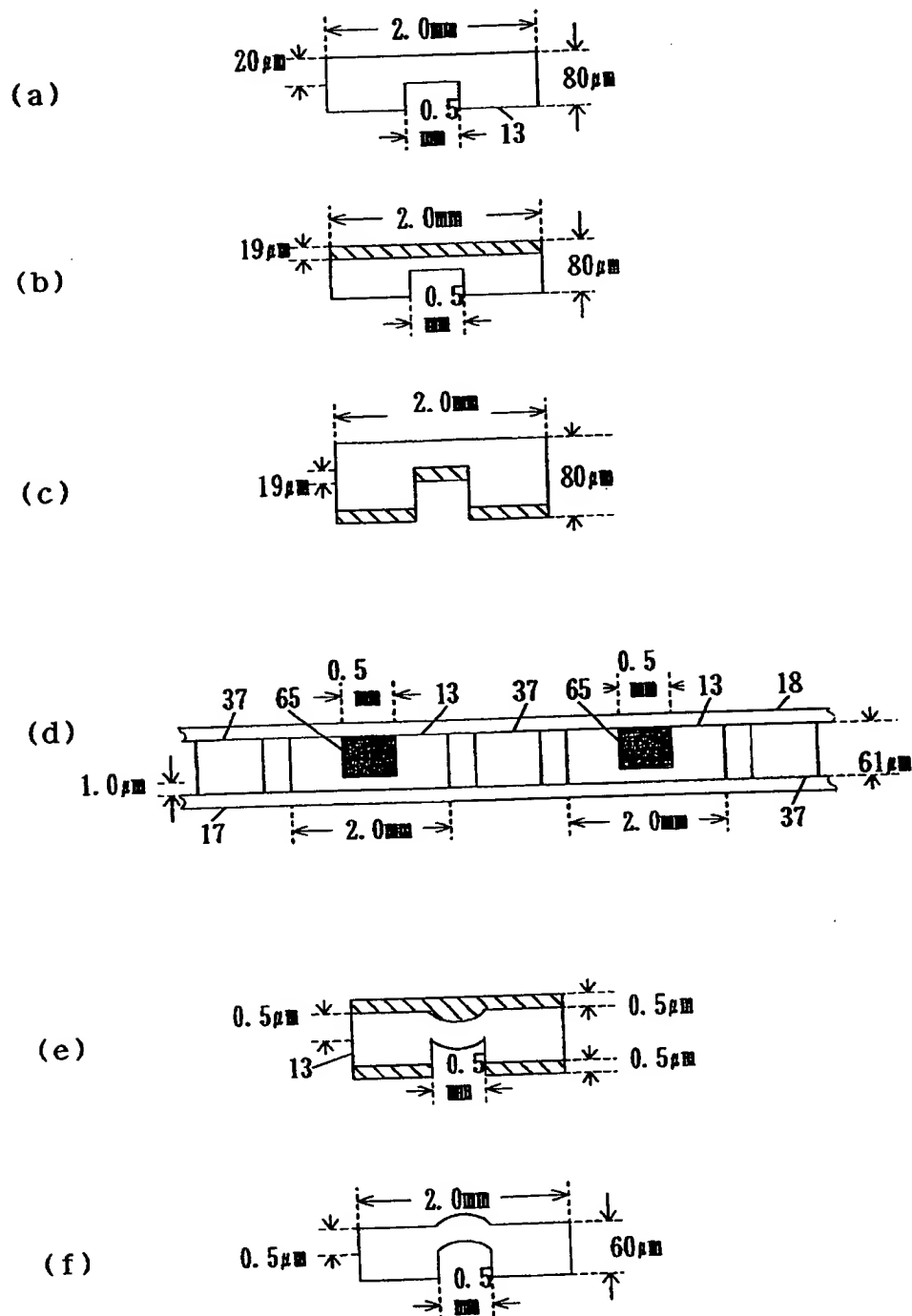
【图 80】



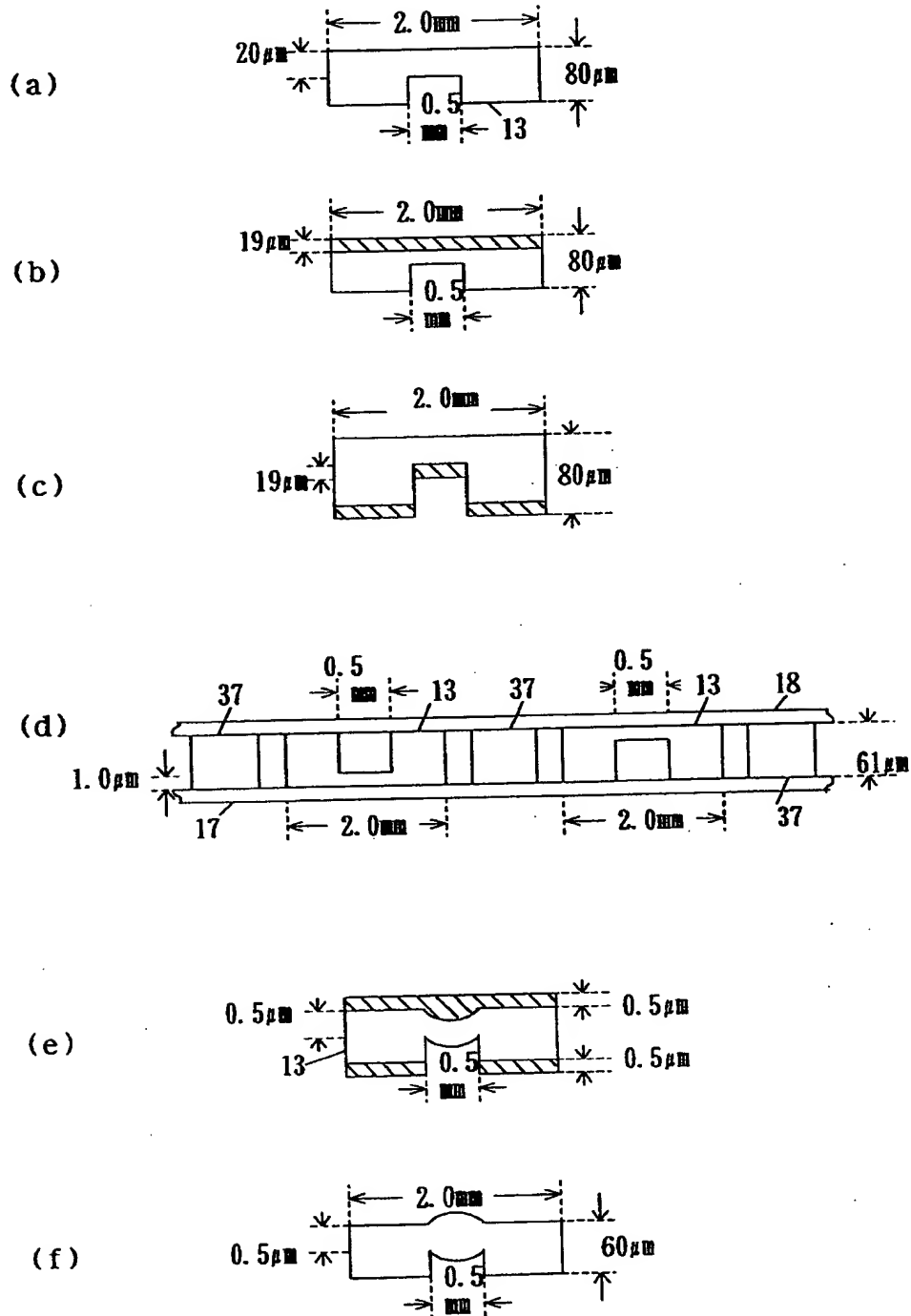
【図 8 1】



【图 82】

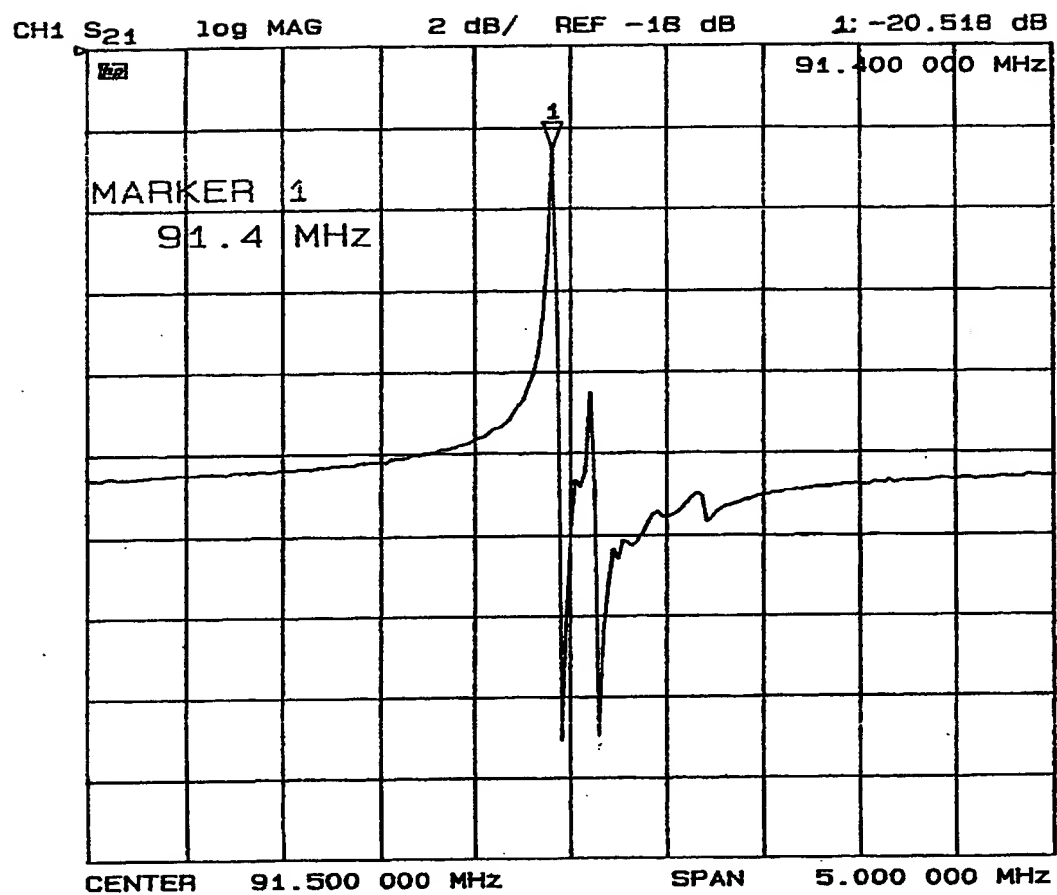


【図 8 3】

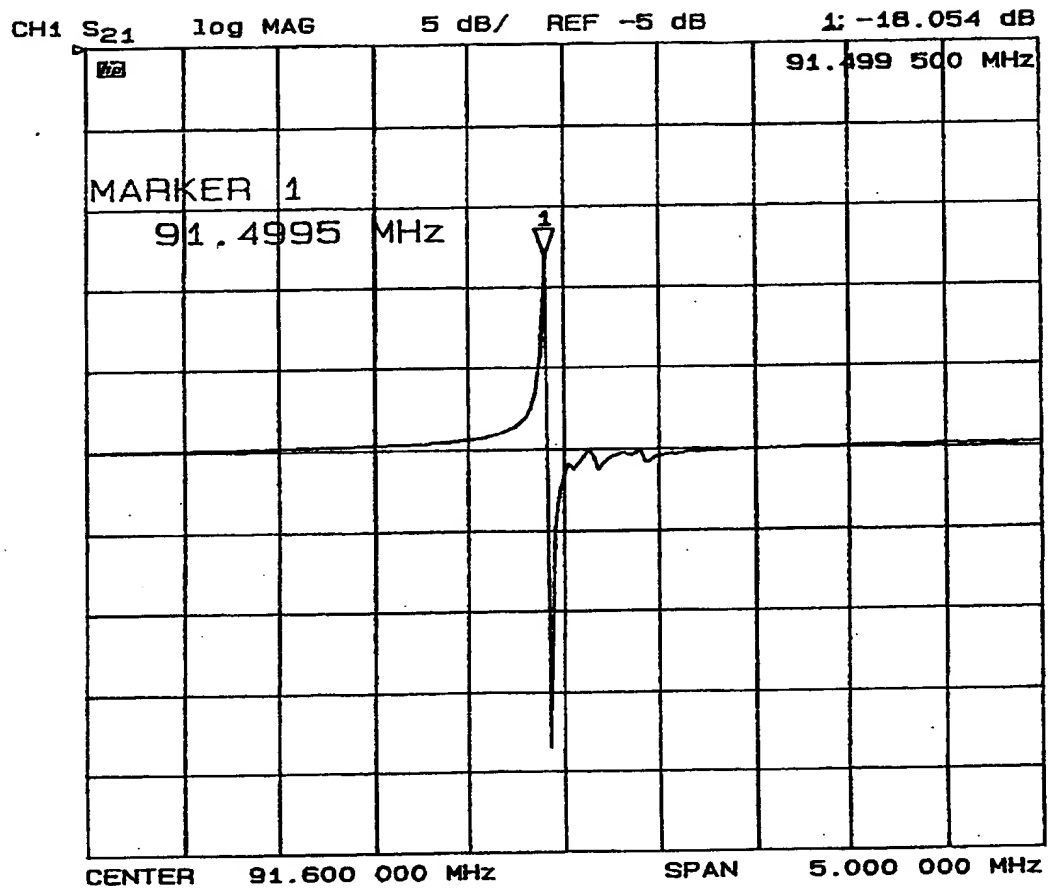


特平 1 1 - 3 2 4 4 9 2

【图 8 4】

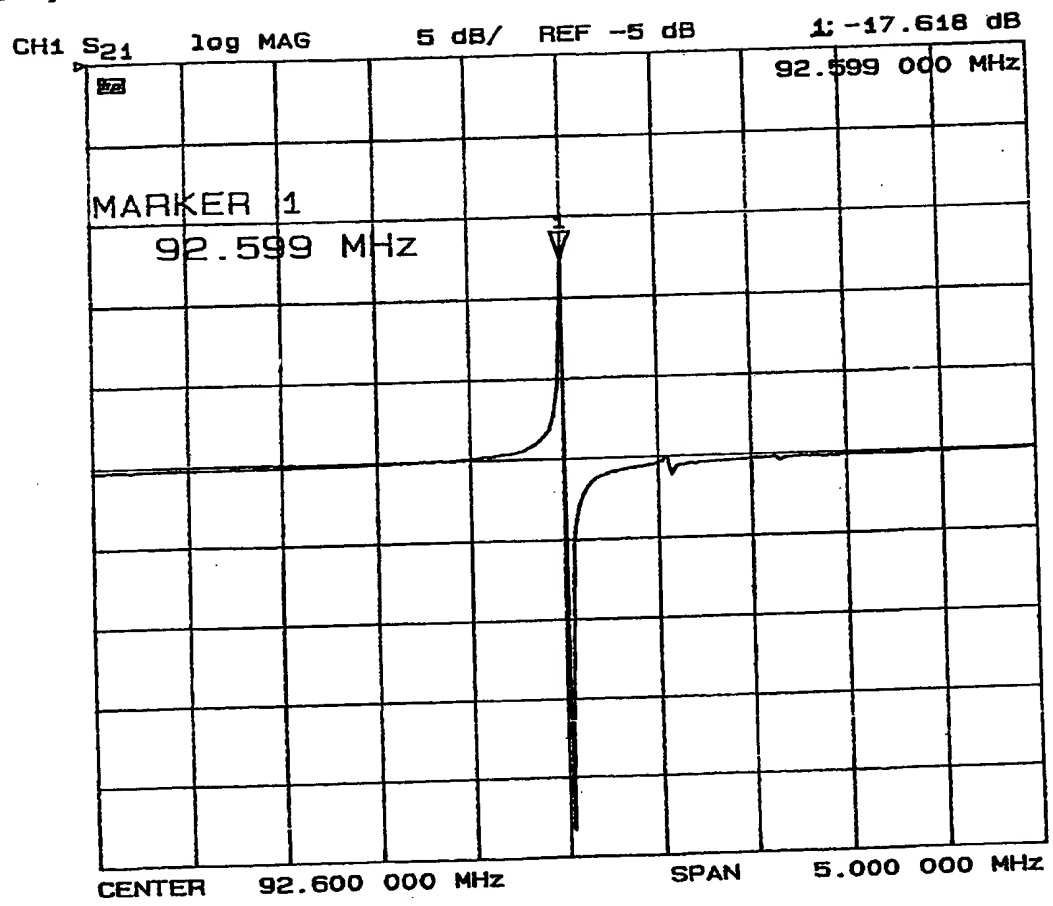


【図 8 5】

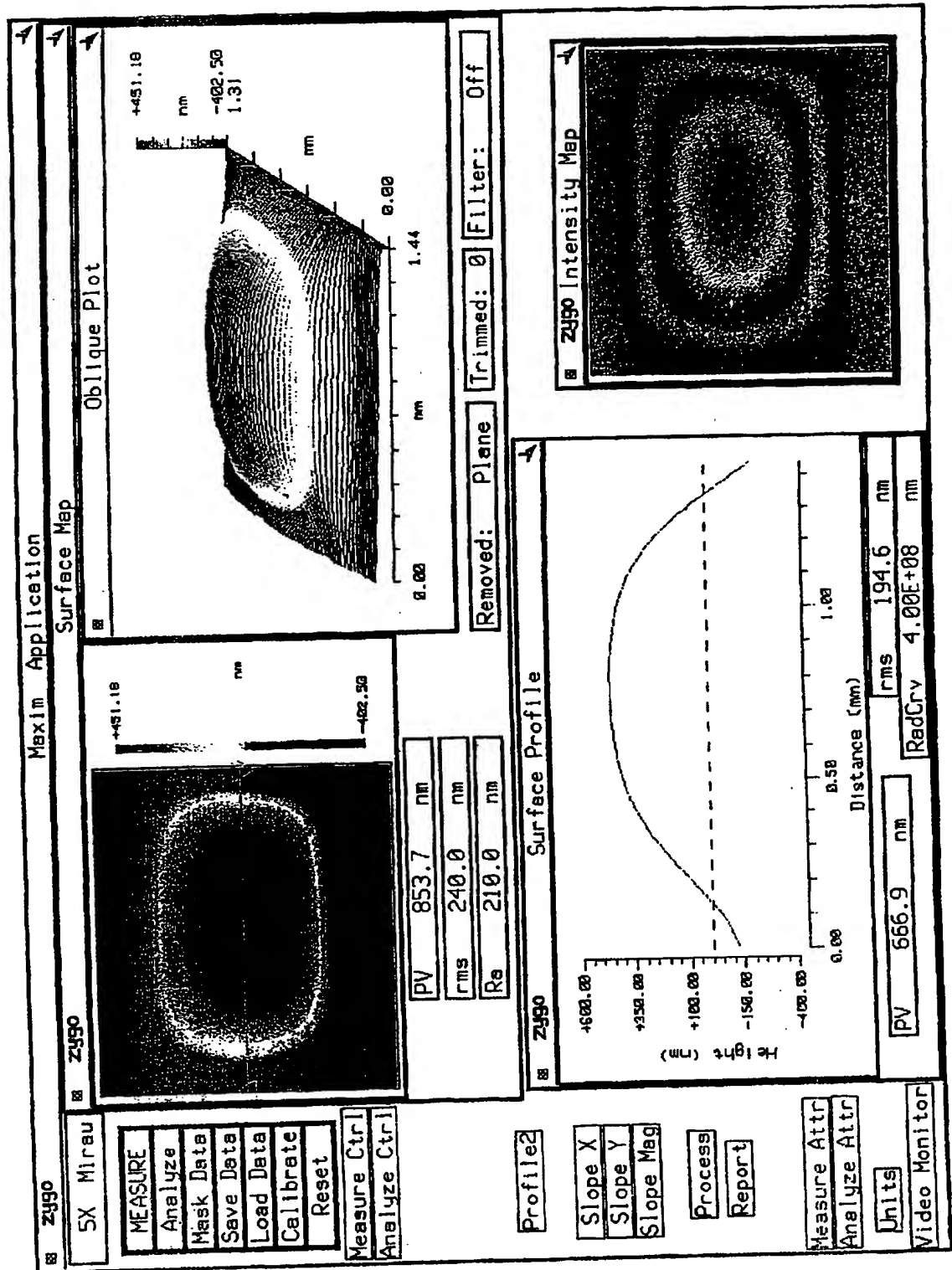


特平 11-324492

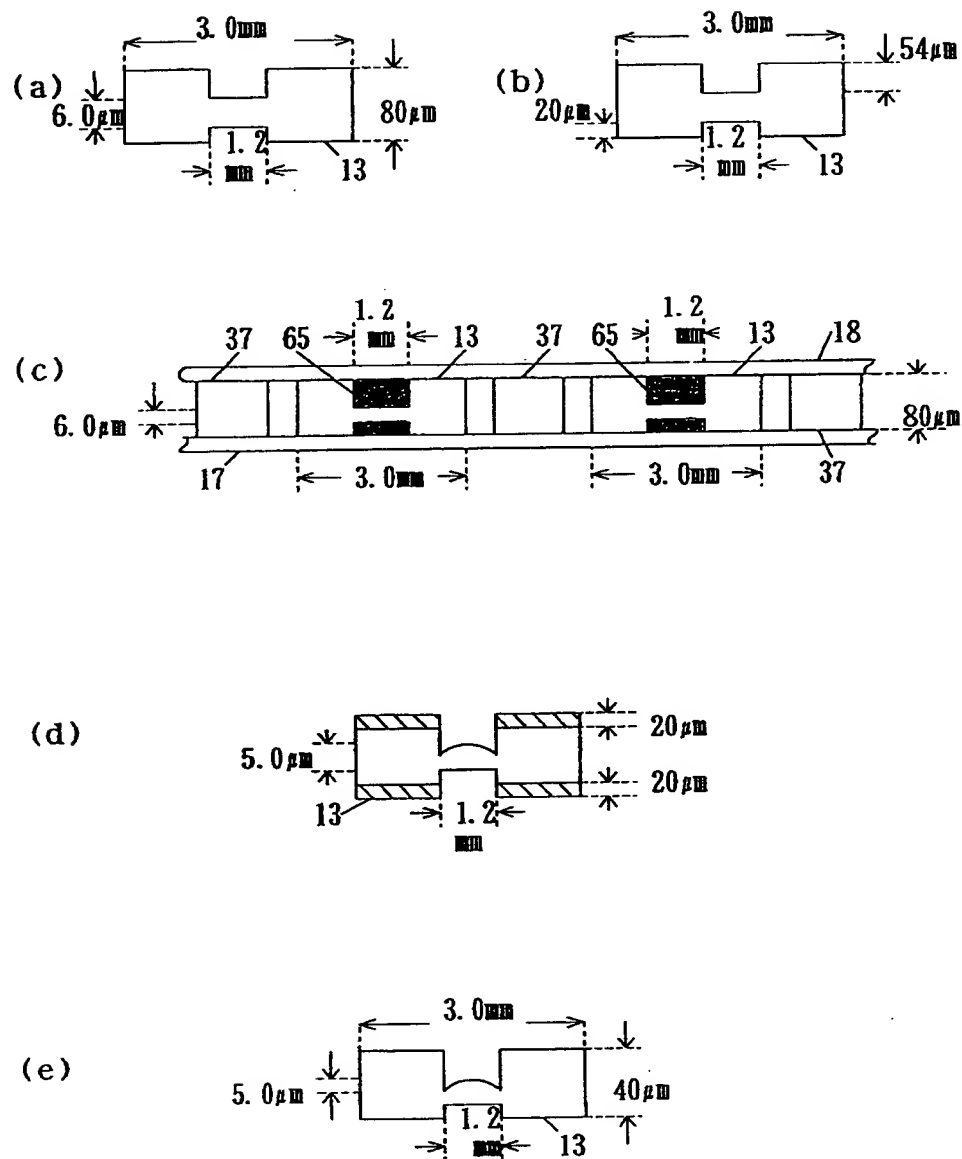
【图 86】



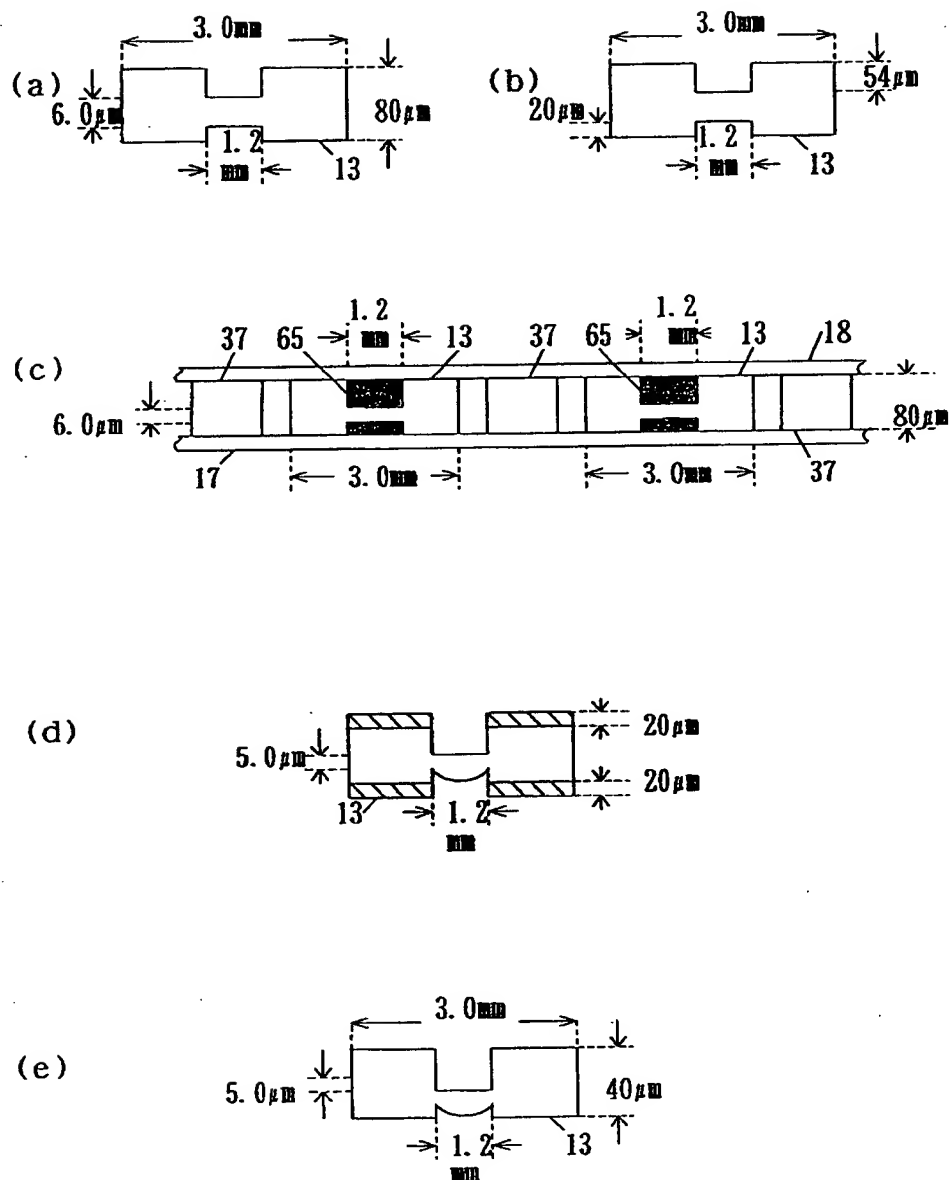
【图 8 7】



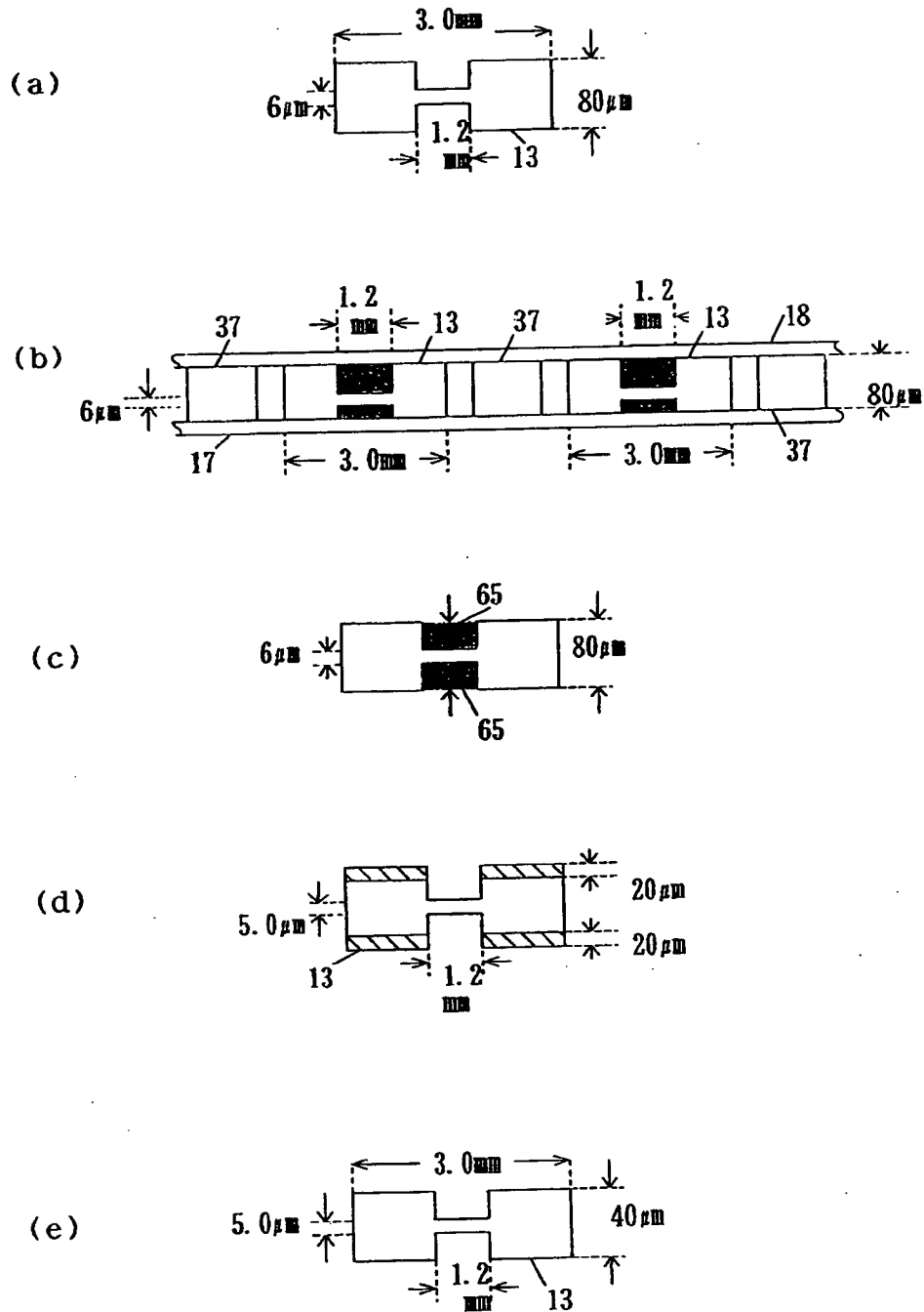
【图 8 8】



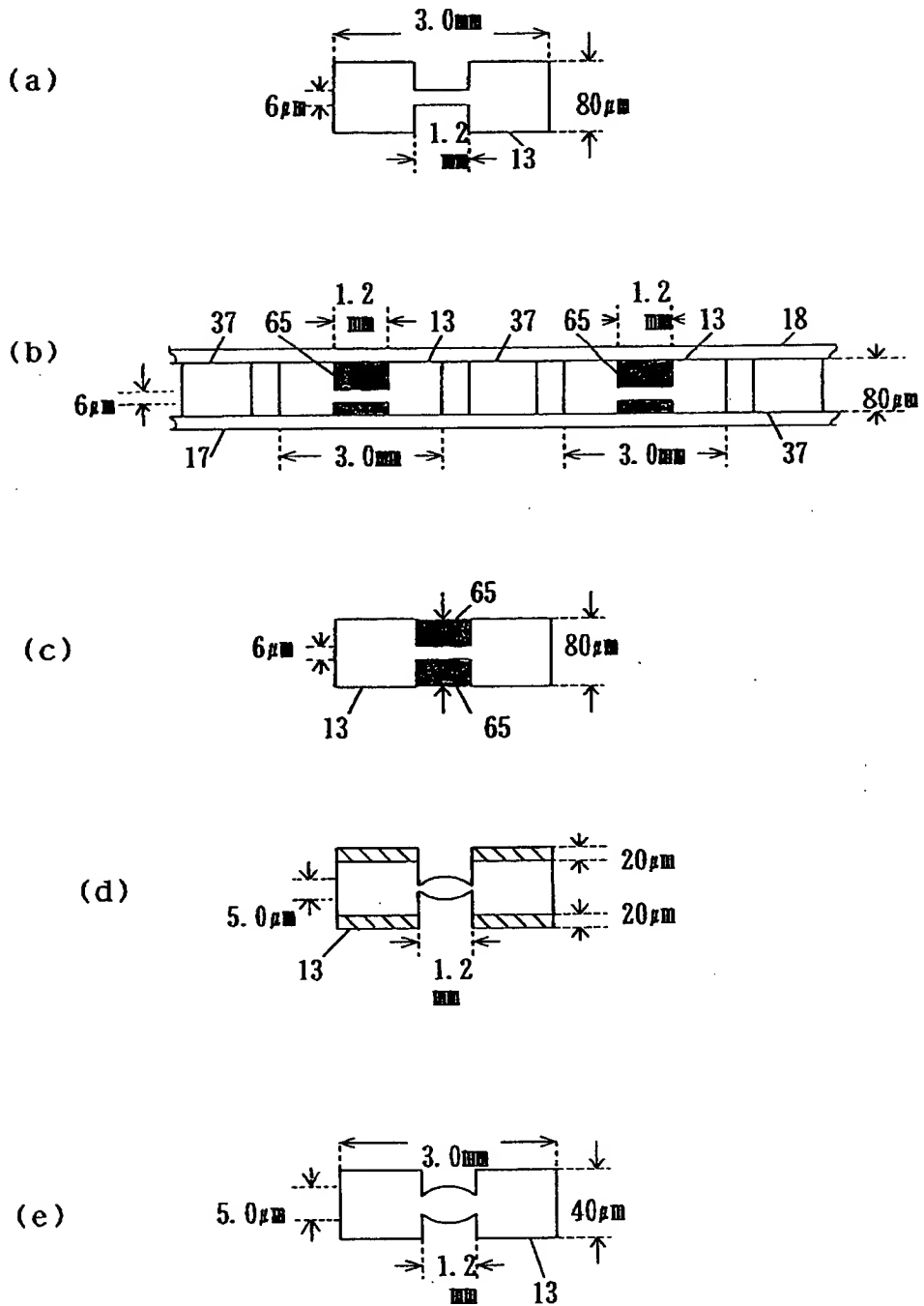
【図 8 9】



【图 9 0】



【图 9 1】



【書類名】

要約書

【要約】

【課題】 従来困難とされた、製造限界の厚みよりも薄い、圧電素子、及びシリコン、又はガリウムヒ素などの電子材料、及びその他の物質を、加工するための、加工工具及びその加工方法を提供する。

【解決手段】 水晶板、又はシリコン、又はガリウムヒ素などの電子材料を、両面研磨加工機械、又は片面研磨加工機械、又はその他の研磨加工機械を使用して、研磨加工した水晶板（水晶板の厚さを $80\mu\text{m}$ として、水晶板の直径を 2 インチとする）を、片面、又は両面から、RIE 加工などの、化学的なエッチング加工を行って、数 $10\mu\text{m}$ 前後（例えば、 $62\mu\text{m}$ とする）を、除去した後、RIE 加工などの、化学的な、RIE 加工、イオンミリング、又はプラズマエッチング加工である、Dry Etching 加工、又は、化学的な、Wet エッチング加工によって発生する数 μm （例えば、RIE 加工にて、 $62\mu\text{m}$ 除去すると、約 $0.2\mu\text{m}$ から $3\mu\text{m}$ の凸凹が発生する）を、再度、両面研磨加工機械、又は片面研磨加工機械、又はフロートポリシング機械、又はその他の研磨加工手段によって研磨加工をする水晶板などの圧電素材、又はシリコン、ガリウムヒ素などの、電子材料を加工することを特徴とする、圧電素子の加工方法。

【選択図】 図 4 5 (d)